

设计师锦囊系列



# 塑料之美

——造型·结构·质感

陈根 编著

英國 STUFF  
美國 I.D.

两大国际顶尖设计媒体资深专家  
联袂推荐



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

设计师锦囊系列

# 塑料之美——造型·结构·质感

陈 根 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



## 内 容 简 介

设计师通过对塑料材料的运用、设计,制造出了满足现代生活需要的各类产品。掌握塑料的特性及其应用与成型工艺,是设计师成功设计的基础。本书以塑料产品的必备知识为主线,侧重于向读者介绍关于塑料材料在设计中的应用,通俗、形象地向读者阐述了塑料材料的特性、应用领域、成型工艺、结构设计、表面处理工艺、塑料成型缺陷处理等问题。

本书可作为高校工业设计专业师生的教材和教学参考书,也可作为从事工业设计、产品与产品结构设计的专业技术人员的培训教材和参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

塑料之美:造型·结构·质感 / 陈根编著. —北京:电子工业出版社, 2010.10  
ISBN 978-7-121-12032-9

I. ①塑… II. ①陈… III. ①塑料—应用—工业设计 IV. ①TB47②TQ32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 202626 号

责任编辑:朱清江

印 刷:

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15 字数: 350 千字

印 次: 2010 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 36.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltts@phei.com.cn](mailto:zltts@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线:(010) 88258888。

## 鸣    谢

感谢我的老师 国家发改委宏观经济研究院原副院长 专家、教授、博士生导师 刘福垣

感谢我的老师 英国剑桥大学商学院副院长 **Lawrence S. Abeln**

感谢我的老师 中国社会科学院专家、教授、博士生导师 李海舰

感谢我的老师 中国工程院院士、教授、博士生导师 李京文

感谢华东理工大学 程建新院长的支持与关怀

感谢广州大学 汤重熹院长的支持与关怀

感谢江南大学 李世国院长的支持与关怀

感谢东南大学 崔天剑院长的支持与关怀

感谢南京理工大学 李亚军院长的支持与关怀

感谢周长跃、南君美、卢德建等人的支持与关怀

# 前 言

塑料，这是个大家都不陌生的名词，塑料制品每天都在影响着我们的生活。自1907年以煤焦油为原料的酚醛塑料问世以来，塑料在经历了百余年发展之后，达到了今天无处不在的普及程度，塑料与我们的生活紧密地联系在一起。在21世纪的今天，我们还在不断地进行塑料材料的创新和发展，这主要得益于塑料材料本身所具备的轻质、高强、价廉、可塑和再利用等诸多优点。在国民经济中，塑料与钢铁、木材、水泥一起并称为四大基础材料，被认为是推动社会生产力发展的新型材料，在很多领域成功取代了金属、玻璃和木料。

塑料将会成为21世纪应用最为广泛的材料，是未来设计师们产品设计的首选材料。对于追求个性消费的时代，塑料材料的可塑性强、成型形式多样，成为满足不同消费需求的表现工具。材料的发展与创新，影响与改变着我们的生活，设计师们所设计的民用产品中，80%都与塑料有着密切的关系。对于设计师而言，掌握塑料材料的属性、加工工艺、成型技术、结构技术、缺陷解决方法，是成功设计的基础。

本书共分为8章。第1章重点介绍了关于塑料材料的历史与现状；第2章重点介绍了塑料材料的应用领域；第3章重点介绍了设计师们最常用的20种塑料材料及其特性；第4章重点介绍了塑料材料的现代成型技术与工艺；第5章重点介绍了塑料产品设计中所存在的结构设计问题，以及结构设计后的优化设计方法；第6章重点介绍了塑料材料的表面处理工艺，以及现代表面处理技术在产品中的应用；第7章重点介绍了塑料注塑成型中常见的缺陷及其原因与解决方式；第8章重点介绍了热塑性塑料材料的焊接工艺及其成型特性。本书的附录部分，介绍了塑料产品设计常用表（塑料产品设计公差数值表、常用塑料材料用途查询表、常用塑料材料的成型参考温度、常用塑料材料最佳成型温度）和塑料产品结构设计的禁用材质等设计师们常用的基础工具和知识。

本书以理论与实践相结合的方式提高设计师的设计能力、技术与知识水平，这对于读者从理论设计转换为职业设计师有着深远的帮助，同时对于职业设计师以及工程师们也有着极高的指导意义。

由于自身知识与写作时间所限，书中难免有疏漏之处，敬请广大学者、专家、读者斧正，交流邮箱 chengexm@163.com。

陈 根

# 目 录

第 1 章 塑料材料的历史与现状.....	1
1.1 塑料材料的历史 .....	2
1.2 塑料材料的现状 .....	10
第 2 章 塑料材料的应用领域.....	14
2.1 包装材料 .....	15
2.2 建筑材料 .....	16
2.3 家用电器 .....	17
2.4 信息技术及仪器仪表.....	18
2.5 汽车工业 .....	19
2.6 医疗设备 .....	20
第 3 章 塑料产品设计的材料选择与常用材料特性 .....	22
3.1 塑料产品设计的材料选择.....	23
3.2 塑料产品设计常用材料特性.....	28
第 4 章 塑料成型技术与工艺 .....	43
4.1 塑料成型常见种类.....	46
4.2 普通注塑成型 .....	48
4.3 双色注塑成型 .....	62
4.4 透明注塑成型 .....	65
4.5 注塑成型新工艺 .....	70
第 5 章 塑料产品结构设计与优化 .....	79
5.1 结构优化实例分析.....	80
5.2 塑料产品结构优化.....	133
第 6 章 现代塑料表面处理工艺 .....	145
6.1 印刷 .....	146
6.2 喷涂 .....	165
6.3 电镀 .....	175
6.4 表面处理工艺在产品中的应用实例 .....	188
第 7 章 注塑成型缺陷原因与对策 .....	192
7.1 充填不足 .....	193
7.2 溢料飞边 .....	194
7.3 缩水 .....	195
7.4 流痕 .....	196
7.5 喷痕 .....	197



7.6 银条 .....	198
7.7 表面模糊状 .....	199
7.8 熔接痕 .....	200
7.9 气泡 .....	201
7.10 黑条与烧焦 .....	202
7.11 裂痕与破裂 .....	203
7.12 翘曲变形 .....	204
7.13 顶白 .....	205
7.14 颤纹 .....	206
7.15 表面剥离 .....	206
第 8 章 热塑性材料的焊接 .....	208
附录 A 塑料产品设计常用表 .....	222
附录 B 塑料产品结构设计的禁用材质 .....	228

## 第 1 章

# 塑料材料的历史与现状





## 1.1 塑料材料的历史

塑料，这是个大家都不陌生的名词，塑料制品每天都在影响着我们的生活。在国民经济中与钢铁、木材、水泥一起并称为四大基础材料，被认为是推动社会生产力发展的新型材料。从儿童玩具到各类仪器容器，从计算机外壳到汽车部件，塑料制品在我们的生活中随处可见。我们所涉及的民用产品中 80% 都跟塑料有着密切的关系，但是就是每天在生活中面对与应用的塑料也许很少有人知道，究竟什么样的材料才叫塑料？塑料涵盖着哪些品种？塑料最早是什么时候由谁发明的？塑料工业是怎么发展到今天这种繁荣景象的？这就是整个塑料的发展历史。

塑料的英文名称“plastic”来自希腊语“plastikos”，意思是“成型”，“可成型”或者“具有可塑性”，作为形容词经常被使用，就产生了“塑料”一词。“塑”的汉字本义是指“用泥土捏成人物形象”，“塑性”引申为“能自由成型”之意，“塑料”也就是具有可塑性的材料。

从字面上理解，塑料指所有可以塑造的材料。但我们所论述的塑料，单指人工合成的塑料（又称合成树脂），是用人工方法合成的高分子物质。1926 年 3 月，美国《塑料》杂志对塑料所做的定义为“一种能塑造成各种形状的材料，不像非塑性物质那样需要切削”。比较严格意义上的定义，塑料一般指以树脂为主要成分，加入（或不加）增塑剂、填充剂、润滑剂，着色剂等添加剂，在一定温度和压力下塑造成一定形状，并在常温下能保持既定形状的有机高分子材料。其中树脂是指加工成塑料制品前的有机聚合物（通常是指人工合成的高分子），在常温下为固体或液体。树脂约占塑料总质量的 40%~100%，其本性决定了塑料的基本性能，通过添加剂可以调整其性能。有些塑料基本上是由合成树脂组成，不含或含少量添加剂，如有机玻璃、聚苯乙烯、聚碳酸酯等。塑料与高分子树脂两者之间的关系如同米饭与大米，在没进行蒸煮之前是大米，在进行了蒸煮之后就成了米饭。同样塑料在未进行加工之前的主要成分就是高分子树脂，加工之后就称之为塑料。

塑料在历经了百年发展之后，以其性能、价格等多方面的因素，渗透于我们生活的方方面面。在 21 世纪的今天，塑料材料还在不断地创新，不断地发展，这主要得益于塑料材料本身所具备的轻质、高强、廉价、可塑和再利用等诸多优点。目前，塑料材料已经由过去的单一材料发展到了 60 多个大类 300 多个品种，应用于各个领域，并在很多领域成功取代金属、玻璃和木料。

1907 年，以煤焦油为原料的酚醛塑料面世，标志着塑料时代的正式开始，其标志性人物为美籍比利时人列奥·贝克兰（Leo Baekeland）。此后随着电气时代的到来，电能的发展驱动了市场对绝缘材料的强烈需求，于是推动塑料工业的不断发展，石油炼制工业的兴起和石油化工的兴起将塑料材料带入了高速发展轨道上。塑料从此开始影响和改变我们的生活，如尼龙丝袜的发明就给人类的生活方式带来了

观念性的改变。直到第二次世界大战后以石油产品为原料的树脂合成材料迅速取代了煤化工在工业原料中的主体地位，各种新型塑料产品如雨后春笋般涌现。塑料的普及给人们的生活带来了方便，同时也带来了环境的危害。环境保护问题使一些发达国家开始对塑料的使用加以限制，但随着塑料科技的不断进步，可降解塑料材料的出现将会使塑料和生态趋于一种和谐的关系，塑料材料在产品中的应用也进入全新的时代。

## 塑料时代的开始

以合成塑料、酚醛塑料（PF）的出现为标志。在19世纪以前，人们就已经开始使用沥青、松香、琥珀、虫胶等天然树脂。1868年，将天然纤维素硝化，用樟脑作为增塑剂制成了世界上第一个塑料品种——赛璐珞，从此开始了人类使用塑料的历史。然而市场驱动是技术与产业发展的必然要素，塑料也不例外。促使第一种完全合成酚醛塑料的出现与19世纪后期一种天然的绝缘材料——虫胶这种天然树脂有着直接的关系。当时处于萌芽发展期的电力工业蕴藏着巨大的绝缘材料市场，但产自东南亚的虫胶由于供不应求而导致原材料的价格一路攀升。当时有些化学家已经开始认识到很多可用做涂料、黏合剂和织物的天然树脂和纤维都是聚合物，即结构重复的大分子，并开始寻找能合成聚合物的成分和方法。在诸多的研究者中，贝克兰经过多年努力终于取得了成功。如果说爱迪生因发明了灯泡而将人类带入了光明的时代，那么贝克兰则是通过发明塑料将人类带入了一个多彩的世界。

从1904年开始，贝克兰开始研究苯酚和甲醛的反应。尽管早在1872年，德国化学家拜尔就发现了这个反应能产生一些黏稠状的东西，但拜尔的兴趣在合成染料上，并没有对这一化学反应进行深入研究。后来的科学家也对这种化学反应进行过研究，但因为无法精确控制化学反应而未能找到它的利用价值。然而贝克兰解决了这个问题。他发明了一种名叫贝克利（Bakelizer）的试验装置，可以精确调节加热温度和压力，能有效控制化学反应。贝克兰用这种装置成功地得到了酚醛树脂，将其模压后得到半透明的硬塑料，这种塑料不易燃烧，成型后不再熔化，也不能溶解到溶剂甚至是酸性液体中去。

于是他就用自己的名字给这种新材料命名为贝克利特（Bakelite），并于1907年7月14日注册了贝克利特的专利。从这一天起，第一种合成塑料——酚醛塑料贝克利特诞生了。贝克利只比他的英国同行詹姆斯·斯温伯恩爵士早一天递交专利申请，否则英文里酚醛塑料可能要改叫“斯温伯莱特”了。酚醛树脂以煤焦油为原料合成，是世界上第一种人工合成的树脂，向粉状的酚醛树脂中添加木屑混合均匀后在高温高压下模压成型就得到了酚醛塑料。毫无疑问，它是人类所制造的第一种全合成材料，它的诞生标志着人类社会正式进入了塑料时代。酚醛塑料具有绝缘、稳定、耐热、耐腐蚀、不可燃等性能，之后被应用于迅速发展的汽车、无线电和电力工业中，其被制成插头、插座、收音机、电话外壳、螺旋桨、阀门、齿轮、管道





等各种产品。在家庭中，它出现在台球、把手、按钮、刀柄、桌面、烟斗、保温瓶、电热水瓶、钢笔和人造珠宝上。当然，酚醛塑料也有缺点，它受热会变暗，只有深褐、黑或暗绿 3 种颜色，而且容易摔碎。但酚醛塑料的发明被认为是 20 世纪的炼金术，它的发明人贝克利于 1924 年被选为美国化学学会会长，被《时代》周刊称为“塑料之父”。

1910 年，贝克利创办了通用酚醛塑料公司，在美国新泽西的工厂开始生产。由于酚醛塑料的出现大大降低了生产成本，于是就有大批的仿制者跟进，直到 1926 年专利保护到期，大批同类产品鉴于专利保护到期的情况下大批涌入市场。1939 年，贝克利决定退出公司经营，而他的儿子、继承人乔治·华盛顿·贝克兰却对商业不感兴趣，于是就将公司以 1650 万美元（相当于今天 2 亿美元）出售给当时的联碳公司。由于市场需求的不断扩大，于是就促使了新技术的出现，在酚醛塑料工业化后不久就出现的第一个无色塑料——脲醛塑料，它是由奥地利化学家约翰在 1918 年研制，20 世纪 20 年代曾在欧洲被用于玻璃的替代材料，后来常用于压制一般电工材料和生活日用品。

1920 年又一种新型的塑料合成材料苯胺-甲醛塑料诞生。这种塑料具有良好的耐水性、耐油性和高介电性能，适用于制造绝缘材料。直到 20 世纪 30 年代，又出现了以尿素为基础原料的三聚氰胺-甲醛树脂，这种树脂制成的塑料比脲醛塑料硬度更高，并有更好的耐水、耐热、耐电弧性，可作为耐电弧绝缘材料。脲醛塑料、苯胺-甲醛塑料、三聚氰胺-甲醛树脂这三种塑料被统称氨基塑料，它们具有质地坚硬、耐刮痕、无色、半透明等优点，加入颜料可制成彩色鲜艳的制品，俗称电玉。电玉和电木因其卓越的电绝缘性能，为推动当时电气工业和仪器制造工业的发展起了积极作用，直到今天欧洲仍然有部分国家的电气工业产品在使用电玉材料。

酚醛塑料和氨基塑料都有着一个共同的特点，就是都具有热固性。即指材料在受热固化成型后不能再重复加热软化冷却硬化的加工过程，塑料制品只能一次成型使用，不能反复塑造，这样的塑料被称为热固性塑料。这类塑料虽然不可循环使用，但由于价格低廉，又具有良好的绝缘性能且结实耐用、耐腐蚀，因此延用至今。另外环氧树脂、不饱和聚酯也属于这类塑料，即热固性塑料。

## 塑料时代的里程碑

以聚酰胺（PA）的出现为标志。20 世纪前半叶的两次世界大战，给人类社会带来沉重的灾难，但同时也为塑料材料带来了革命性的发展。第一次世界大战后，伴随着高分子化学理论的逐步完善和煤化学工业的日趋成熟，以及石油化工的方兴未艾，塑料工业飞速发展，目前，最常用的 60 余种塑料中有将近 20 个品种在第一次世界大战后的这段时期实现了工业化，在这段时期的塑料材料伟大革命就在于出现了一类与热固性塑料截然不同的塑料品种，即热塑性塑料材料。

热塑性塑料就是可以经历多次加热软化冷却硬化加工过程的塑料。此类塑料制品经一次成型使用废弃后还能反复塑造再加以利用，因此，也被为可再生塑料。一次成型的热塑性塑料废弃回收后的废料称为再生料或者回料。再生塑料不能再用做食品包装，但可在工业上广泛应用，我们日常生活中使用的大部分塑料都属于这类再生塑料。

20 世纪 30~40 年代，热塑性塑料品种和产量急剧增加，聚苯乙烯（PS）、聚氯乙烯（PVC）、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA，俗称有机玻璃）、聚酰胺（PA，尼龙）、高压聚乙烯（LDPE）、氟塑料、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS）、有机硅树脂等塑料材料相继工业化生产，并迅速广泛应用于机电、航空、汽车、建筑、农业等领域及日常生活中。在这些塑料新星中，最耀眼的莫过于聚酰胺，也就是诞生于杜邦公司的尼龙。

20 世纪初，生产企业从事基础科学研究在当时被认为是不可思议的事情，然而重视新产品研发的杜邦公司已认识到科研能够促进和推动工业生产。于是在 1926 年，当时杜邦公司的研究主管查尔斯·斯泰恩建议开展相关基础研究；1927 年，杜邦公司决定每年支付 25 万美元作为研究费用，并开始聘请专业化学品研究人员。1928 年又成立了基础化学研究所，年仅 32 岁的华莱士·卡罗瑟斯博士（Wallace Carrothers）受聘担任该所有机化学部的负责人。受聘到杜邦公司后，卡罗瑟斯以施陶丁格的高分子学说为理论基础，主持了一系列用聚合方法获得高分子量物质的研究。当时的主管斯泰恩的要求是“只探求有关各种物质特质与性能的客观现象，不在乎发现的现象有什么具体用途”。

1930 年，卡罗瑟斯的助手发现用乙二醇和癸二酸缩合制取的聚酯能像棉花糖一样抽出丝来，而且抽出的丝即使冷却后也不会变硬或断裂，长度可达原来的几倍，强度和弹性也大大增加。随后的研究中，得出从这种聚酯得到纤维只具有理论上的意义，因为它在 100℃以下即熔化，而且特别易溶于各种有机溶剂，只是在水中还稍稳定些，因此不适合用于纺织。事实上后来英国的温费尔德（T.R.Whinfield）在汲取这些研究成果的基础上，改用对苯二甲酸与二元醇进行缩聚反应，1940 年，成功合成了聚酯纤维（即涤纶），这对于卡罗瑟斯不能不说是一件很遗憾的事情。

美国经济在进入了大萧条时期给卡罗瑟斯的实验室带来了更大的挑战，他们必须研究出一种适销的合成纤维，代替已显过时的人造丝。当时的新任研究主管埃尔默·博尔顿开玩笑说道，“这其中没有一项能让他听到现金出纳机的叮当声”。后来，卡罗瑟斯把研究重点转向了聚酰胺，并于 1931 年申请了第一项聚酰胺专利（USP2130948）。1935 年初，他用戊二胺和癸二酸合成出的 PA，其纤维强度和弹性超过了蚕丝，而且不易吸水，很难溶解，只是熔点较低，原料昂贵。同年的 2 月 28 日，卡罗瑟斯又用各含 6 个碳原子的己二胺和己二酸合成出 PA66，其中第一个 6 表示二胺中的碳原子数，第二个 6 表示二酸中的碳原子数，这种聚合物拉制的纤维外观和光泽不亚于天然丝，耐磨性和强度超过当时任何一种纤维，杜邦公司决定



进行商品生产开发。但是要将实验室的成果变成商品，首先要解决原料的工业来源；其次要进行熔体纺丝过程中的输送、计量、卷绕等生产技术及设备的开发。此时生产 PA66 所需的原料——己二酸和己二胺当时仅供实验室做试剂用，必须设法生产大批量、价格适宜的己二酸和己二胺，于是杜邦公司选择丰富的苯酚进行开发实验。到 1936 年，终于研究出一种新的催化技术，可以用廉价的苯酚大量生产出己二酸，随后又发明了用己二酸生产己二胺的新工艺，解决了 PA66 的原料来源问题。

与此同时杜邦公司还首创了熔体纺丝新技术，1938 年 7 月，杜邦公司完成试制，首次生产出 PA66 纤维。同月，以 PA66 做刷毛的牙刷投放市场，还取了一个不同凡响的名字——“奇迹丛”。同年 10 月，杜邦公司正式宣布世界上第一种合成纤维诞生，并将 PA66 命名为尼龙 Nylon，我国称为锦纶。尼龙后来在英语中成了“从煤、空气、水或其他物质合成的，具有耐磨性和柔韧性、类似蛋白质化学结构的所有聚酰胺的总称”。

杜邦制造的第一双尼龙丝袜参加了当年的纽约世界博览会。人们形容这种神奇的人造丝袜“像蛛丝一样细，像钢丝一样强，像绢丝一样美”。1939 年 10 月 24 日，杜邦公司在总部所在地的百货商店首次推出尼龙丝袜，要求每人限购 3 双，还要提供当地住址，为此来自全国的时尚女性将城内旅馆预订一空。到 1940 年 5 月，尼龙纤维织品开始遍及美国各地。两年后太平洋战争爆发，尼龙立刻从民用市场消失，主要用于生产降落伞、军用帐篷、飞机轮胎帘子布、军服等军工产品。战后尼龙刚回到民用市场的时候，爱美的姑娘们甚至迫不及待地到商店门口的台阶上就把刚买到的尼龙丝袜套在腿上。

杜邦公司从没有明确目的的基础研究开始，到改变人们生活面貌的尼龙诞生，11 年时间、2200 万美元投资以及 230 名科学家的努力，奠定了合成纤维工业的基础。尼龙的发明也成为企业投入基础科学研究非常成功的典型。它使人们认识到：“与技术相比科学要走在前面，与生产相比技术要走在前面；没有科学研究，没有技术成果，新产品的开发是不可能的”。此后，企业从事或资助的基础科研在世界范围内如雨后春笋般出现，使相关科研的成果得以更迅速地转化为生产力。

1941 年，杜邦公司首先开发出聚酰胺模塑料，并加工成了齿轮、轴承和电线电缆等，到 1948 年，杜邦生产的模塑制品和挤出制品已达 6 种 12 个牌号。聚酰胺以其优异的耐磨性和耐腐蚀性拓展了广阔的应用空间，用于代替金属在机械、化工、仪表、汽车等工业中制造轴承、齿轮、泵叶及其他零件成为重要的工程塑料。在第一次世界大战后、第二次世界大战前的几十年里，塑料原料逐渐从煤转向了石油。人们能从廉价的石油中合成出成千上万种新的工业品，人们的生活从此变得多姿多彩，天然原料也得以多层次利用，创造出更高的经济价值。除了以尼龙纤维闻名于世的 PA 塑料，还有很多塑料品种在此期间进入工业化。其中比较著名的还有以下几种至今仍然产量很大的热塑性塑料：

(1) PS: 1930 年，德国法本公司解决了 1911 年就被英国人发现的聚苯乙烯工

艺复杂、树脂老化等问题，在路德维希港开始用本体聚合法开始进行工业生产。

(2) PMMA: 1931 年，德国的罗姆—哈斯公司首先建厂生产 PMMA，取代了赛璐珞用于飞机座舱罩和汽车挡风玻璃等。

(3) PVC: 在 1912 年，德国化学家科莱特 (Fritz Klatter) 发明 PVC 并申请了专利，但直到 1925 年专利过期，科莱特和他所在的 Greisheim Electron 公司也没能想出 PVC 有什么用途。然而就在一年后，即 1926 年，远在大洋彼岸的美国化学家西蒙 (Waldo Semon) 独立发明了 PVC，并且发现这种材料具有优良的隔水性能，非常适合做浴帘。于是西蒙和他所在的 B.F. Goodrich 公司将 PVC 在美国申请了专利，随后出现了 PVC 的工业化大生产。

1931 年，德国法本公司采用乳液聚合法实现 PVC 的工业化生产。

1933 年，西蒙又发现用高沸点溶剂和磷酸三甲酚酯与 PVC 加热混合，可加工成软 PVC 制品，这才使 PVC 的实用化有了真正的突破。1936 年，英国卜内门化学公司 (帝国化学公司)、美国联碳公司及固特立奇化学公司几乎同时开发出氯乙烯的悬浮聚合及 PVC 的加工应用技术。从此，PVC 就成为了重要的塑料品种。

(4) LDPE: 1933 年，英国卜内门化学公司在进行乙烯与苯甲醛高压下反应试验时，发现聚合釜壁上有蜡质固体存在，从而发明了聚乙烯 (PE)；1935 年，该公司又发明了可控 LDPE 合成方法，并于 1939 年开始用高压气相本体法生产 LDPE。

(5) PTFE: 称为塑料之王，又称为泰富隆或氟塑料，在 1943 年开始由美国杜邦公司首先推向市场。

这一时期塑料开始出现了多样化的品种，并且工业化规模不断扩大，产量大幅度增加，应用领域不断延伸。世界塑料总产量从 1904 年的 1 万吨，猛增至 1944 年的 60 万吨。

## 塑料时代的大发展

以 PE 和 PP 高分子合成材料为标志。第二次世界大战期间由于战争对合成橡胶的强烈需求极大地推动了石油化工和高分子材料研究的进展。高分子材料主要是指以合成树脂为原料的合成纤维、塑料以及合成橡胶，其中 80% 的合成树脂用来生产塑料。第二次世界大战后的 1946 年至 1950 年的 5 年间，平均每年在中东所发现的石油资源就高达 270 亿桶，仅中东的产量就达到了当时世界石油年产量的 9 倍。由于石油的大规模量产带来了塑料工业化规模不断扩大，于是就形成了 20 世纪 50~60 年代的“四大件”，即汽车、电视机、电冰箱、洗衣机的购买热潮。汽车工业与电器工业的发展也离不开以合成树脂为基础以塑料为代表的合成材料的应用与创新。在这期间最著名的就是齐格勒—纳塔催化剂的发明，使聚烯烃的 PE 和 PP 成为了世界上产量最大的塑料，也使制造业从此能够按照市场与企业产品的需求来设计高分子的结构，从而优化产品性能。齐格勒和纳塔也由于这项特殊的成就获得



了 1963 年的诺贝尔化学奖。

齐格勒是德国化学家，他在 1953 年发现用烷基铝和四氯化钛作为催化剂，可以生成一种不同于之前工业化的聚乙烯。1939 年，工业化的 LDPE 由于在高压下制成，分子结构错综复杂，排列不整齐，导致材料的密度低、质地软、熔点低，只适合做食品包装袋、软管等。齐格勒发现的这种 PE 分子结构像细线一样没有分叉，分子能有序地进行排列，并且还能结晶，因此，密度高、熔点高、强度高，能够制造桶、瓶、管、棒等需要硬度高的产品，也就是今天的 HDPE。齐格勒本人在当时尚未认识到此发明所具有的重大意义，因此，在当时只申请了乙烯聚合的专利。

齐格勒的工作引起意大利化学家纳塔的极大兴趣，纳塔改进了齐格勒所用的催化剂，使之能适用于丙烯的聚合，并且得到了高产、高结晶度、能耐 150℃ 高温的 PP，纳塔所研究的这种新材料就被称做为定向 PP。纳塔还是 X 射线衍射结构分析方面的专家，他在这方面的工作使人们得以深入了解聚合物的结构与性质间的关系，正是由于他的背景知识成就了他的研究成果。从此，人们就可以根据需求，有目的地设计高分子结构以满足预期要求。合成材料的品种更加多样化，尤其是聚烯烃类塑料，到 20 世纪 70 年代，已经形成了世界上产量最大的塑料品种，至今仍然在各塑料品种的产量中名列榜首，约占全部塑料产量的三分之一。

## 塑料技术的突破带来了产业革命

20 世纪 40 年代，两大塑料材料尼龙和涤纶的问世使人造纤维的产量很快就超越了当时的羊毛产量。第二次世界大战后尤其在 1958—1973 年，塑料工业在丰富廉价的石油化工产品推动下飞速发展，直到 1970 年时产量就已经高达 3000 万吨。除了塑料材料产量增加之外，塑料品种还呈现出百花齐放的特点。

(1) 由单一的大品种通过共聚或共混改性，发展成系列品种。如 PVC 除生产多种牌号外，还发展了氯化聚氯乙烯、氯乙烯-醋酸乙烯共聚物、氯乙烯-偏二氯乙烯共聚物、共混或接枝共聚改性的抗冲击聚氯乙烯等。

(2) 开发了一系列高性能的工程塑料新品种。如聚甲醛(POM)、聚碳酸酯(PC)、(ABS)树脂、聚苯醚(PPE)、聚酰亚胺(PI)等。

(3) 广泛采用增强、复合与共混等新技术，赋予塑料更优异的综合性能，扩大了应用范围。

塑料的出现因其廉价、质轻、绝缘、不腐、不锈、易塑、多样等诸多优点，以每年 12%~15% 的速度增加，进而逐步影响与替代着金属、木材与水泥等传统结构材料。塑料材料的产量在 20 世纪 50 年代就已经超过了铝，随后又超过了铜和锌，70 年代已接近木材和水泥的产量，80 年代初在体积上已经超过了工业时代的代表——钢铁的产量。1991 年，世界塑料原料(树脂)产量首次突破 1 亿吨；到 2003 年，已经突破 2 亿吨。

塑料制品的发明，不仅提高了人类现代生活的质量，也推动了人类社会文明的进步与技术创新。塑料在丰富人们生活的同时也给人们带来了方便和实惠，成为人们日常生活不可缺少的一部分，可以说凡是有人群的地方就可见到塑料产品。根据统计，世界塑料的人均年消费量 1970 年为 8kg，1980 年为 13.4kg，1995 年已达 22.5kg，而工业发达国家已经超过 50kg。人均塑料消费量最多的国家是美国、比利时和德国，2001 年已超过 150kg，以中国的人口规模和从业发展速度，相信在不久的将来会超越这些国家。

自古以来，服装面料主要来源于棉麻丝毛等天然纤维，但随着全球人口暴涨，资源减少，环境恶化，以及对面料色彩、质感等方面的需求，天然纤维生产速度已远远落后于社会需求。合成纤维的出现使人们发现煤和石油中的物质竟然可以通过化学反应造出和天然纤维相媲美的衣服，因此，合成纤维逐渐取代天然纤维，合成纤维又称为化纤。化纤和塑料都是以合成树脂为原料加工成的不同形态的制品。美国的尼龙袜革命在使尼龙广为人知的同时促使更多的化纤和塑料产品推向市场，最常见的用做服装材料的除了尼龙纤维（锦纶）；还有以“的确良”而家喻户晓的涤纶——聚酯纤维；俗称人造毛的腈纶——聚丙烯腈纤维；亲油疏水又结实耐用的丙纶——聚丙烯（PP）纤维；吸水性好有合成棉花之称的维纶——聚乙烯醇（PVA）纤维；以及弹性好以莱卡闻名的氨纶——聚氨基甲酸酯纤维等。这些合成纤维和天然织物混纺后既能保持天然织物的优点又能克服其缺点，根据有关统计表明，1996 年世界合成纤维产量已经同世界棉花总量持平，达到 1900 万吨。另外还有一些有特殊性能的合成纤维，如美国杜邦公司推出的聚酰胺纤维 Kevlar 能用于制造战场用的头盔和盔甲，以及警察防弹背心等防护用品。

各种鞋底材料也大量采用塑料制成，生活中经常接触的耐磨鞋底就有聚氨酯（PU）塑料和苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物（SBS）塑料等。另外，结实明艳、式样繁多的用 PVC、PE、PU 制成的塑料凉鞋、拖鞋、雨鞋、矿工鞋。生活中方便的塑料购物袋随处可见，塑料首饰因其价廉而又漂亮现在被广泛用在服装服饰上。女士们钟爱的头花大也都是由丙烯酸酯塑料（亚克力）或者不饱和聚酯塑料制成。1999 年，瑞典人成功地把一种具有优异阻隔性能和抗紫外线辐射性能的聚萘二甲酸乙二酯（PEN）塑料啤酒瓶推向市场就在北欧市场上站稳阵脚。有了这种不易碎的啤酒瓶，人们就可以通过它把啤酒带进体育场、电影院等人员密集的地方而不用担心酒瓶伤人事件的发生。

除了用于食品包装之外，塑料因其密度小（约为天然石材密度的  $1/3 \sim 1/2$ ，约为混凝土密度的  $1/2 \sim 2/3$ ，仅为钢材密度的  $1/8 \sim 1/4$ ）、且强度高（玻璃纤维增强塑料复合材料比强度超过钢材和木材）、导热性低（泡沫塑料的导热系数接近于空气）、耐酸碱盐腐蚀、绝缘、装饰性好等优点，在建筑材料和装修材料中也大展身手。在家居装修中最常见的有塑料门窗、管材、扶手、扣板、地面卷材、地砖地板、卫生洁具和泡沫塑料等。PVC 也成为了塑料建材的主力军，建筑装修中



常用的塑料门窗、管材、扶手、扣板、地面卷材、地砖地板和泡沫塑料等。生活饮用水常用的管材就是无毒的 PE 和 PP，如 PPR 水管等。

历史的发展证明，任何一种新材料的出现，都会给人类的生活带来翻天覆地的变化，都促进了人类文明的巨大飞跃。从石器时代到青铜时代再到铁器时代，都是以新材料的出现和使用为标志的。20 世纪以来，以塑料为代表的高分子合成材料的出现，使几千年来的无机材料和金属材料在它面前都显得暗淡无光，任何一种材料都无法像塑料那样，短短百年间就活跃在普通大众的日常生活各个领域。正如伦敦科学博物馆馆长苏珊·莫斯曼所说“塑料的故事是过去百年材料世界的核心线索之一。有了塑料，才有了消费革命，收音机、电视、计算机、合成纤维、一次性用具才得以大量生产”。但也正因如此，人们已经不再反复使用塑料，塑料成为用过即丢弃的消费品，即使是大型成型件，最后也会随着产品的损坏被丢弃。

人类的这种严重浪费资源的做法给我们赖以生存的地球环境带来了严重的破坏也给人们自身的健康带来了潜在的危害。“白色污染”最为典型的的就是“白色家电”所发的一系列污染问题。这就引发我们产品设计师的全面思考，了解塑料的性质及性能，如果在设计的过程中做到产品的材料合理化与可回收性，避免由于这些塑料制品难以降解处理，造成的城市环境污染，减少和避免环境的恶化。

## 1.2 塑料材料的现状

### 外国塑料材料的现状

美国塑料(原料)的产量多年来一直雄居各国之首。早在 20 世纪 80 年代前期，美国塑料产量就已达 2000 万吨，1986 年增至 2310 万吨，占全球总产量 8100 万吨的 28.5%，此后美国塑料产量继续呈现稳定增长之势，1988 年、1990 年、1992 年、1994 年、1996 年和 1998 年，分别增加到 2710 万吨、2810 万吨、3010 万吨、3410 万吨、4000 万吨和 4360 万吨，占世界总产量的比例从 1996 年起提高到 30% 以上。2001 年，美国塑料产量为 4170 万吨，其中以聚乙烯为最多，达 1500 多万吨。

其次分别是氯乙烯 650 万吨、聚丙烯 720 万吨、聚苯乙烯对酞酸脂 320 万吨、聚苯乙烯 280 万吨。国内塑料消费量(产量+进口量-出口量)，美国也是全球最多的，美国的全部塑料消费量 2001 年为 4280 万吨。美国人均塑料消费量也是很高的，2000 年为 159kg，2001 年略减为 155kg，居全球第三位。美国现有各种从事塑料行业的企业 1 万多家，其中职工人数少于 50 人的占总数的 53%，50~100 人的占 21%，100~500 人的占 23%，超过 500 人的占近 4%。职工总数近 90 万人。在美国塑料制品加工业的就职人数达 110 万，2001 年的产值为 2150 亿美元，人均产值为 195 美元。

## 第1章 塑料材料的历史与现状

德国是世界最大的塑料（原料）生产国之一，20 世纪 90 年代初的 1991 年、1992 年和 1993 年，德国塑料产量都为 990 多万吨，1994 年增至 1110 万吨，1998 年近 1300 万吨，1999 年近 1400 万吨，2000 年增至 1550 万吨，超过日本为世界第，二大塑料生产国，2001 年上升为 1580 万吨，2002 年已超过 1600 万吨。2001 年德国生产的种种塑料原料中，聚乙烯为 285 万吨（低密度聚乙烯 160 万吨，高密度聚乙烯 125 万吨）、氯乙烯 175 万吨、聚丙烯 160 万吨。2001 年，德国的国内塑料消费量为 1280 万吨，其中聚乙烯 265 万吨、聚丙烯 155 万吨、氯乙烯 152 万吨。德国人均塑料消费量 2001 年为 160kg，在世界上仅少于比利时的 172kg，高于美国的 155kg，排在世界第二位。德国塑料制品加工业的职工总计有近 30 万人，2001 年的产值为 360 亿美元，人均 126 美元（德国塑料工业协会表示，受全球金融危机的影响，2008 年，德国塑料产量比上年下降 2.5%，2008 年，德国塑料产量为 2000 万吨）。德国塑料制品加工企业中职工少于 50 人的占 44%，50~100 人的占 28%，100~500 人的占 25%，500 人以上的占 4%。

日本在很长的时期内都是仅次于美国的世界第二大塑料生产国。一直到 1997 年,日本塑料产量连续多年增长,年产量在 20 世纪 70 年代中期就已达 500 多万吨,1987 年突破 1000 万吨,1991 年达约 1300 万吨,1992 年和 1993 年,因受经济下滑的影响,产量略有减少,分别降至 1258 万吨和 1225 万吨。从 1994 年起产量再度增长,1994 年、1995 年和 1996 年,分别回升到 1300 万吨、1400 万吨和 1470 万吨,1997 年的产量又比上年增长 3.7%,达到 1521 万吨,首次超过 1500 万吨。但这种增势在 1998 年受到遏制,产量大幅度减少。1998 年,日本塑料产量为 1390 万吨,比上年减少了 8.7%。1999 年和 2000 年,日本塑料产量分别回升到 1432 万吨和 1445 万吨,但仍远未恢复到 1997 年的水平。2001 年和 2002 年,日本塑料产量再度下降至 1400 万吨以下的 1364 万吨和 1361 万吨。2002 年,日本塑料(原料)产量减为 1361 万吨。而中国则增为 1366 万吨,日本退居第四位(2006 年,日本的塑料制品原材料产量达到了 1.405 万吨)。

可塑性树脂在日本塑料（原料）总产量中占 9%左右，2002 年，日本生产了 1214 万吨热可塑性树脂，占总产量的 89.2%，热硬化性树脂产量为 127 万吨，仅占 9.3%。聚乙烯在日本生产的各种塑料中，数量最多，1997 年、1998 年、1999 年、2000 年和 2001 年，分别为 337 万吨、314 万吨、337 万吨、334 万吨和 329 万吨，2002 年减至 318 万吨，其中低密度聚乙烯 179 万吨，高密度聚乙烯 118 万吨，其他（EVA）21 万吨；聚丙烯 264 万吨，比上一年减少 2%（比历史最高的 1997 年的 285 万吨减少 7%）；氯乙烯 223 万吨，比上一年增长 1.4%（比 1997 年的 262 万吨减少 15%）；聚苯乙烯 119 万吨，比上年减少 2.5%（比 1997 年的 152 万吨减少 22%）。日本国内塑料消费量 1997 年曾达 1230 万吨，是迄今为止的最高纪录，2002 年降到 1035 万吨，人均年消费量同样也从 1997 年 97.2kg 下降到 2002 年的 81.2kg。日本塑料制品加工业有职工 45 万，2001 年产值为 840 亿美





元, 人均 186 美元。日本塑料制品加工企业中职工人数不足 50 人的占 93.3% (其中 9 人以下的占 66%), 50~100 人的企业占 4.1%, 100~500 人的占 2.5%, 500 人以上的只占 0.1%。

韩国塑料产量增长十分迅速, 1986 年超过 200 万吨, 1990 年达到 300 万吨, 1992 年突破 500 万吨, 1994 年、1996 年和 1997 年分别上升到 600 多万吨、700 多万吨和 800 多万吨, 1998 年产量增至 850 万吨, 1999 年突破 900 万吨, 2001 年达 1200 万吨, 跻身于世界五大塑料生产国之列。韩国塑料原料产品中以聚乙烯居首, 2001 年产量为 340 万吨 (低密度聚乙烯 160 万吨, 高密度聚乙烯 180 万吨), 聚丙烯以 238 万吨排在第二位, 其次分别是聚酯 161 万吨、氯乙烯 124 万吨、ABS·AS 树脂 86 万吨、聚苯乙烯 77 万吨。韩国国内塑料消费量 2001 年为 420 万吨, 只相当于产量的 1/3 略高。人均塑料消费量 2001 年为 106kg, 韩国塑料制品加工业的职工总数 2001 年为 3.1 万人, 产值为 85 亿美元。

## 我国塑料材料的现状

中国塑料工业多年持续高速增长, 1991 年产量仅为 250 万吨, 1995 年增为 350 万吨, 1998 年超过 700 万吨, 2002 年已增为 1400 万吨, 超过日本而成为世界第三大塑料原料生产国。中国塑料制品市场将持续走强, 在包装、工程、建材、农用和日用塑料制品等各个领域都将有较大幅度的增长, 2010 年需求量将超过 2500 万吨。其中包装塑料制品需求量将超过 850 万吨, 工程塑料制品需求量将达 400 万吨左右, 建材塑料制品需求量将达 300 万吨以上, 农用塑料制品需求量将达 500 万吨左右, 日用塑料制品需求量约为 80 万吨左右。

工程塑料一般是指可以作为结构材料承受机械应力、能在较宽的温度范围和较为苛刻的化学及物理环境中使用的塑料材料。工程塑料可分为通用工程塑料和特种工程塑料两大类。通用工程塑料通常是指已大规模工业化生产的、应用范围较广的 5 种塑料, 即聚酰胺 (PA、尼龙)、聚碳酸酯 (PC)、聚甲醛 (POM)、聚酯 (主要是 PBT) 及聚苯醚 (PPO)。有些通用塑料经改性使其升级或工程化后, 性能接近于通用工程塑料, 如改性聚丙烯 (PP)、改性苯乙烯系聚合物 (ABS、SAN 等) 和超高分子量聚乙烯, 有时也称为工程塑料, 更准确地应称为准工程塑料。而特种工程塑料则是指性能更加优异独特、尚未大规模工业化生产或生产规模较小、用途相对较窄的一些塑料, 如聚苯硫醚 (PPS)、聚酰亚胺 (PI)、聚砜 (PSF)、聚醚酮 (PEK)、液晶聚合物 (LCP) 等。

工程塑料性能优良, 可代替金属作为结构材料, 被广泛应用于电子电气、交通运输、机械设备及生活用品等领域。总体上说, 工程塑料的主要应用市场及其份额是: 电子电气占 25%、汽车占 22%、机械占 20%、日用消费品占 10%、其他占 23%。工程塑料的发展非常迅速, 每年都以 7%~10% 的速度增长, 其中 PA 的

应用量和产量仍居五大塑料之首。工程塑料在我国主要应用在汽车、电子电气、机械行业、建材、医疗器械、轻纺行业、包装行业等。

现阶段我国工程塑料需求增长最快的是 PC，它的用途比较广泛，主要是板材、光盘等。另外，手机外壳、计算机外壳等对 PC 需求量也比较大。此外汽车制造业已成为工程塑料消费增长最快的市场。

受全球金融风暴的影响，工程塑料市场面临着市场需求的疲软和新增产能不断增加的双重压力，即便在这种困境下，工程塑料市场仍将保持增长。2009 年上半年我国汽车和建筑等行业普遍回暖，直接带动了工程塑料两大应用领域的景气度逐步向好，直接刺激了 PA、PC 两大工程塑料产品进口量的大幅攀升，2009 年 1~4 月份，我国聚酰胺（PA66）进口量增长率出现跳跃式增长，4 月份进口量突破 1.3 万吨；而 PC 月均进口量增长幅度也超过了 30%。

我国工程塑料行业经过不断发展，PA、PC 在汽车新材料等领域应用越来越深入，行业成熟度不断提高。但同时也存在一些问题：目前，国内工程塑料企业总体来看规模小、生产分散、缺乏大型领军企业。国家对工程塑料行业的支持仍有不足，使得部分产品研发缓慢，产品认可度仍与国外有一定差距，国际竞争力比较弱。另外，备受业内青睐的两个行业 PA 及 PC，在经历了金融危机的洗礼后，不少国内企业也更加关注改性技术应用和未来的发展方向。）

## 第 2 章

# 塑料材料的应用领域



塑料材料作为传统材料的替代品，在 20 世纪初开始被大量生产和应用，进入 20 世纪 50 年代后塑料工业在原料、生产、加工、研究等方面都进入新的发展阶段，其应用领域也迅速扩大，在国民经济中与钢铁、木材、水泥一起并称为四大基础材料，被认为是推动社会生产力发展的新型材料。其应用几乎遍及人类生活的每个领域，从航空航天、工程机械、建筑到医疗、生活用品等领域。

### 2.1 包装材料

用纸还是塑料，设计师、制造商、消费者的回答显然是“用塑料”。几乎在所有的包装领域，塑料都在逐步代替传统的纸质包装材料。塑料在进入包装领域也有着近 100 年的历史，但在大多数国家的应用则始于第二次世界大战之后。食品塑料外包装如图 2-1 所示。从塑料的出现，并且走入人类生活之后，塑料原材料和制造工艺的不断发展，更是有利于塑料制品挑战金属、纸板等传统的包装用材料，在某些情况下，PP 等非传统性包装用树脂材料正在抢占 PET 材料的市场份额。塑料包装材料的快速增长得益于它的一系列优点为越来越多的人所认识。例如，安全、清洁、卫生、透明、质轻、耐冲击、成本低廉、节约能源等。迄今为止，塑料包装的产值占世界包装业总产值的 31% 左右，化妆品塑料外包装如图 2-2 所示。



图 2-1 食品外包装



图 2-2 化妆品塑料外包装

由于塑料包装的快速发展，包装已成为塑料应用最大的领域。据统计，世界各国平均有 35% 的塑料应用于包装。在欧洲的一些国家，这一比例更高达 40% 以上。

塑料用于包装主要有 3 种形式：薄膜，容器和以保护产品、抵御冲击破坏及隔热为目的的泡沫包装。以用量计算，薄膜消耗量位居第一，但容器（不包括塑料袋、编织袋）发展异常迅速，消耗量已占塑料包装材料的 30% 左右。

目前，塑料在包装材料领域的应用已经相当广阔，主要在以下三大领域中。

（1）薄膜材料，作为包装材料、单层膜的用量居多，用于生鲜食品、冷加工食品、果子类包装。

（2）片材成型容器，通过型模挤出的塑料片材由热成型成为盘状；盒状容器包装食品，以单层片材加工居多；瓶状用的要求高就需多层化、单层膜片制的盘碟之类容器多用 PS、HIPS、OPS 的热成型制品。

（3）吹塑成型容器，通过挤出吹塑和注塑吹塑法制得的塑料容器，在纵向拉伸



的同时进行吹塑，可使用多层型坯多层吹塑。其中以挤出吹塑成型法的产量居多。PE 和 PP 的单层吹塑瓶多用来包装洗发、洗涤剂等非食品类包装。

## 2.2 建筑材料

塑料是继传统建筑材料，即钢材、木材、水泥之后的又一重大新兴建筑材料。塑料在建筑领域的应用，对现代建筑技术的发展、建筑功能的改善、建筑装饰水平的提高起到了重要作用。目前，世界各国用于建筑领域的塑料品种已多达 300 多种，并且占据塑料消费总量高达 20% 以上。建筑中常用的 PVC 扣板、管材如图 2-3、图 2-4 所示。

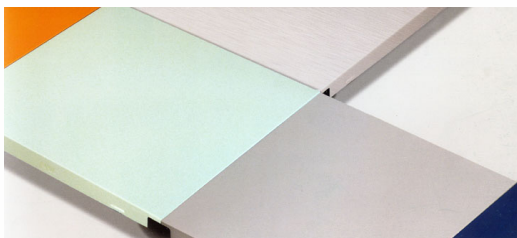


图 2-3 PVC 扣板

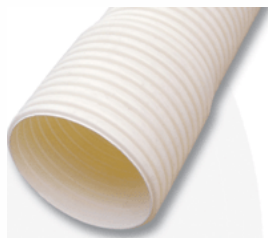


图 2-4 塑料管材

塑料建材在市政工程、村镇建设以及工业建设中尤为广泛。它不仅能在某些领域大量代替钢材、木材以及建筑材料，而且还具有节能、改善居住环境、提高建筑功能与质量、施工便捷等优越性。塑料建材的节能效益十分突出，建筑用塑料制品仅为钢材、铝材生产能耗的 25% 和 12.5%，硬质 PVC 生产能耗仅为铸铁管和钢管的 30%~50%，塑料给水管比金属供水管降低输水能耗 50% 左右，塑料门窗可节约采暖和空调能耗 30%~50%。全世界建筑行业消耗的塑料每年达千万吨。塑料建材之所以能在建筑领域广泛应用，并迅速发展，其原因除了制品本身的优良性能外，还在于森林面积的大量减少，人类保护生态环境意识的增强以及世界各国稀有资源的保护政策。事实表明，塑料具有比传统建筑材料更为优越的性能，如质轻、隔热保温、吸音隔音、防水防腐、加工方便、装饰效果好等，尤其是塑料还具有节能、节材、保护资源、改善生态环境等作用。

目前，塑料在建筑材料领域的应用已经相当广阔，主要在以下六大领域中。

(1) 塑料管道。在住宅建筑以及市政设施建设中已大量采用耐蚀性好的塑料管道代替铸铁管、镀锌管、水泥管等传统管材。如排水排污管、煤气和天然气输送管、供水压力管等，采用塑料管使用寿命可达到 50 年。塑料管的采用对保护水资源、防止水在运输过程中的污染也有更好的效果。

(2) 塑料门窗。建筑结构的能耗中约有 60% 是来自于门窗，由于塑料门窗较之金属门窗有非常突出的保温性能，因此，塑料门窗已经成为建筑门窗中的重要分支体系，在国内外得到广泛应用。在我国东北三省，相当一部分城市的新建住宅中，

塑料门窗的占有量超过 80%。

(3) 采光材料。一些透明性好的塑料板材已广泛用做采光屋顶、天棚、天窗、温室、室内装饰、户外广告、灯箱等，其具有透明、质轻、安全、隔热、隔音等多种功效。

(4) 装饰材料。各种装饰板材、异型材可用于室内墙面、天花板、厨房壁柜、卫生间。室外采用 PVC 外墙装饰板，在美国消费量仅次于建筑涂料，占第二位。

(5) 保温材料。塑料泡沫材料有良好的隔热保温性能，1cm 厚的泡沫塑料，其保温效果等同于 15cm 厚的砖砌体，或者 50cm 厚的混凝土墙，是节能型建筑必不可少的材料。

(6) 防水材料。防水材料在建筑物中的使用比例不大，但其作用和功能却在整个建筑物中占有突出的地位。利用高分子防水卷材解决建筑物存在的渗漏顽症，在工业发达国家已十分普遍，并认为是最佳选择之一，市场份额在一些发达国家达 50% 以上。

### 2.3 家用电器

塑料在电子电器领域的应用日益广泛，其塑料消费量为仅次于包装和建筑位列第 3 位，在一些发达国家，用于制造电子电器产品所消耗的塑料甚至占塑料总耗量的 25%。

塑料有良好的电气绝缘性，用做电气绝缘介质材料可能是塑料在这一领域的最早应用，并且也是至今最大的用途之一，可以列举出的例子包括电线电缆绝缘材料、电容器介质、封装材料、电气设备的绝缘部件、产品外壳（图 2-5）、电器开关、插座、印刷制电板、接线板、骨架、绕线轴、接插件等。

随着热塑性工程塑料的开发应用，其质轻、良好的冲击韧性、优良的成型加工性、表面光洁、色彩鲜艳的特点结合塑料的电绝缘性能和设计的灵活性，使塑料逐渐成为电子电器产品的壳体、内外装饰件、控制面板、功能部件的首选材料。许多以塑料为外壳材料和功能部件的电子电器产品已经走进千家万户；例如，家用电器中的洗衣机、空调器、冰箱、加湿器（图 2-6、图 2-7）；厨房电器中的食品搅拌机、洗碗机、电饭锅、电咖啡壶；视听设备中的收音机、组合音响、电视机、VCD、DVD 等（图 2-8）；个人护理产品，如电吹风、电动剃须器，以及家庭用照明电器、电动工具等。



图 2-5 微波炉外壳



图 2-6 加湿器



图 2-7 概念冰箱



图 2-8 iPod 播放器及其辅助设备

目前，塑料在家用电器领域的应用已经相当广阔，主要在以下三大领域中。

(1) 小型制品。近十几年来小型化便携的家电产品发展迅速，如音响设备、汽车电子设备等，这类产品多用含丁二烯单体的高抗冲性聚苯乙烯 HIPS，但从色泽、薄型化、耐冲击、耐擦伤等要求考虑则以采用聚合物合金料的热塑性弹性体更好。

(2) 大型制品。冷库、电气洗涤机、多功能彩色电视机等的外壳材料大多采用高流动性材料经气辅注塑成型一次注塑成大型箱体。

(3) 健康类家电。使人体在使用时感到健康和舒适的家电制品可以提高其附加值，如空气清净机和空调设备中附有空气过滤和负氧离子杀菌功能；冷藏库内为防止过分干燥涂有含氟树脂的炊具；电气熨斗把手采用热塑性弹性体使人握起来更为舒适等都受到消费者的欢迎。

## 2.4 信息技术及仪器仪表

伴随着科学技术的进步，塑料在通信、计算机等以信息的传输、记录、保持、复制为特征的新兴产业中，发挥着越来越重要的作用。相关的产品有电话机、手机、寻呼机、计算机及外围设备如图 2-9 所示，如传真机、复印机、打印机、扫描仪、测量仪等（图 2-10）。由塑料制成的 CD 光碟如图 2-11 所示，能在较小空间内存储大量的数据和信息。只要几十张光盘就可以代替一个图书馆。尤其是现代 IT 时代的出现，产品更新速度的日益加剧，使得塑料材料的重要性被不断地体现与提升，SONY 公司最新 MP3 产品如图 2-12 所示。

目前，塑料在信息技术及仪器仪表领域的应用已相当广泛，主要在以下六大领域中。

(1) 印制电路板。大多用酚醛纸质覆铜箔板制作，计算机和计测仪器类用的多为环氧玻璃布层压的附铜箔板。大型计算机用的多层印制电路板用双马来酰亚胺即耐热性树脂的玻璃布覆铜箔板作为基板，多层的印制电路板保护层常用聚酰亚胺玻璃布制作。高频低介电低损耗的印制电路板采用聚四氟烯玻璃布板制作。

(2) 半导体。包封半导体包封材料从改性环氧树脂低吸湿、高黏结性入手，发展成环氧树脂与银粉成为糊状密封材料。小型化半导体的包封材料使用聚酰亚胺膜上涂覆聚酰胺酰亚胺黏合剂来增强黏接性。



图 2-9 投影手机



图 2-10 测量仪



图 2-11 CD 光盘盒



图 2-12 SONY 公司的 MP3

(3) 驱动部件。齿轮等滑动部件大多用 POM，此外，也用聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT) 和聚酰胺 PA 等具有阻燃耐热性的树脂。

(4) 光学零件。透镜等的材料多使用光学性好的有机玻璃 PMMA 和 PC 或非晶型的聚烯烃，常以注塑压缩成型法加工。

(5) 外装部件。常用阻燃的 ABS、PS、PC/ABS 和 PC/PS 等合金料。

(6) 结构件。本体结构件过去以金属板为主，现为高刚度、尺寸稳定的 PMME 和 PC 的复合材料所代替，比较大的高精度零件要确保树脂填充时的流动平衡，常用热流道模具提高成型速率。

### 2.5 汽车工业

塑料在汽车行业中的应用占有重要地位，随着汽车节能化，低成本等因素的影响，使塑料在汽车上的应用量日益增多。目前，在汽车工业领域已大量使用塑料，用以代替各种昂贵、非再生的有色金属和合金钢材，这不仅提高了汽车造型的美观性与设计的灵活性，同时降低了零部件加工、装配与维修的费用，还降低了汽车使用能耗。随着汽车向小型化、舒适化的方向发展，汽车中使用塑料也从最初单纯用于制造电器绝缘件和方向盘等零件的热固性树脂等少数几个品种迅速增加到内饰件 (PVC)、车顶棚 (PUR)、车身覆盖件 (PC)、燃油箱 (PP) 等几十种，其中热塑性塑料占很高的比例。1994 年，西欧轿车用热塑性塑料用量为 1200kt，2000 年，这一用量已突破 1700kt，而其中 PP 用量占总量的 42%，它被广泛用于保险





杠、油箱等车体内外部件，汽车塑料化已成为衡量汽车工业发展水平的标志之一，如图 2-13、图 2-14 所示。

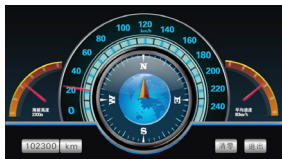


图 2-13 汽车仪表盘

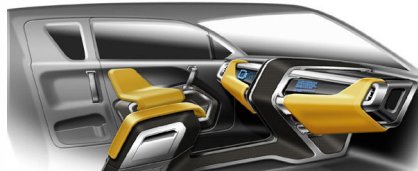


图 2-14 汽车内饰

目前，塑料在汽车工业领域的应用已经相当广阔，主要在以下五大领域中。

- (1) 防撞用保险杠。从成型性，容易改性，价格等几方面考虑，主要应用 PP。
- (2) 汽油箱。汽车油箱要求轻量，价廉，以低密度聚乙烯 LDPE 的吹塑件为主。
- (3) 装饰件。美国的 FMVSS201 法规对汽车装饰部件从安全性要求一律应用 PC 与 ABS、PC/ABS 合金塑料制作。
- (4) 仪表板。仪表板的设计从轻量化和个性化的角度可用的树脂品种不受限制，但从耐热刚性、耐高温蠕变、耐低温冲击、耐振动和尺寸稳定的要求出发，主要应该用含适量填充料的 PP 和改性聚苯醚 MPPE，玻璃纤维增强的 AS、ABS、PC/ABS 合金。
- (5) 发动机。因温度较高，主要使用由玻璃纤维增强的 PA 和 PPS 复合材料，但在发动机内部很少使用塑料件。

## 2.6 医疗设备

塑料以其优良的性质、可靠的性能、方便的成型工艺在医疗领域也获得越来越广泛的应用，使得塑料材料制备医疗用品极具发展前景。首先，塑料件在外形设计方面的灵活性使其替代其他材料而被越来越多地应用于医疗领域，医药行业非常严格的卫生法规和行业标准在一定程度上促进了注塑制品在该领域的广泛应用。可以说，塑料在医疗领域中的应用推动了其他传统材料所不能实现的产品创新，如图 2-15、图 2-16 所示。其次，医疗费用的持续攀升迫使人们采取更为有效的措施降低成本，从而使一次性塑料医疗用品越来越多地取代了可消毒玻璃制品，如图 2-17 所示。而塑料来源丰富、价格低廉，适合制成一次性医疗用品，如图 2-18 所示。

此外，随着全球人口数量的膨胀，特别是老龄化人口以及慢性病、职业病的人数的增加，促进了医疗服务市场的持续增长，特殊医疗用品和器械得到广泛需求。因此，近年来，全球医疗塑料制品市场快速增长，这给医疗用塑料制品带来巨大的市场机遇。中国医疗市场是世界发展最快的市场，目前，年均增长率超过 10%，国内医疗器械制造商也快速成长，不同塑料根据它不同的性能和特性被应用于不同的医疗领域。例如，医用输液管道要求的不发生断裂的柔韧性；为便于医学观察而要求的透明性；为足够的防护而要求的刚性；为防止艾滋病及其他传染疾病的传播，提高安全度而要求的防破碎性；为植入体内，或与身体相接触所要求的生物体替代

性和生物体相容性，以及高性能材料（如 LCP）可作为医疗微型化材料，以实现更高层次的外科手术器械微型化等。

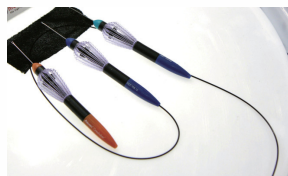


图 2-15 医疗刀具



图 2-16 医用器皿



图 2-17 医疗容器



图 2-18 月抛型隐形眼镜

目前，塑料在医疗领域的应用已经相当广泛，主要在以下六大领域中。

（1）与呼吸机相关的塑料制品和塑料医疗管道，是塑料在医疗用品中应用最集中的领域之一。其相关制品包括面罩、鼻罩、气管插管、气管切开插管、支气管导管、呼吸机连接管、输血管、氧气管、营养管及各种套管等，这些制品大都由聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、橡胶等材料制成。

（2）整形美容中的齿科是塑料在医疗用品中应用的又一个领域。随着口腔保健知识的不断普及，人们对于牙齿的保健意识也在增强，这类医用塑料制品的市场前景将持续增长。其塑料制品包括义齿、牙托粉、全口托牙、托牙组织衬垫、补牙树脂等，主要由聚甲基丙烯酸酯类及其共聚物制成。

（3）循环系统中的塑料制品，如人工心脏应用的塑料主要是聚醚氨酯类材料，具有弹性好、抗老化、组织相容性和血液相容性好，产品性能可通过分子设计来调节改变等优点。制备人工心脏目前主要使用脂肪族聚醚氨酯，主要发展方向是不断改性。

（4）运动系统中的常用塑料制品有人工关节、人工骨钉、骨水泥等，在临床使用上，医用塑料以其质轻、稳定性好、自润滑佳等优点备受青睐。目前，国内外正在研究以茂金属催化剂制备的超高相对分子质量聚乙烯用于制备人工关节。

（5）目前，感觉系统中的塑料制品用量较大的有人工角膜和接触眼镜（隐形眼镜）。用于人工角膜和接触眼镜的材料主要有聚甲基丙烯酸甲酯、涤纶共聚物、硅橡胶、甲基丙烯酸酯类共聚物水凝胶等高分子材料。

（6）其他如塑料人工肺目前使用聚丙烯中空纤维、聚砜中空纤维等作为材料，氧合效果好、对血液成分破坏作用小、安全可靠，在国外已经使用。

## 第 3 章

# 塑料产品设计的材料选择 与常用材料特性



各类塑料产品的设计离不开塑料材料的支撑，不同的材料特性决定着不同的产品成型性能。塑料产业早已进入了工业化时期，并逐步替代传统的一些稀有材料产业，其种类也从最初的单一型向现在的多类别、多品种进行发展。目前，所发展的主要塑料材料类别有 50 多种，其中每个类别又涵盖着不同型号和级别。例如，我们非常熟悉的尼龙（PA）材料，就涵盖着 PA 3、PA 4、PA 6、PA 7、PA 8、PA 9、PA 11、PA 12、PA 13、PA 46、PA 66、PA 610、PA 1010、PA 612、PA 9T、MC PA、PA MXD6 等不同型号。在塑料材料家族中，每一个类别的塑料都可以通过合成进行改性，以满足不同产品的设计与使用要求。

### 3.1 塑料产品设计的材料选择

塑料材料的种类如此繁多，性能又各具不同，因此，在塑料产品设计过程中，就需要根据所设计产品的特性与要求进行相应塑料材料的选择。

#### 1. 按塑料材料的应用范围选择

（1）制造容器、外壳、盖、导管的塑料。这类制品一般不要求承受很大的负荷，但要求有优良的抗冲击强度和硬度、良好或适中的拉伸强度和尺寸稳定性，以及良好的外观和耐环境性，此外还要求材料的价格适中。如果采用金属制造，一般使用钢板、型钢、铸铝或冲切铝、轻合金或压铸金属，这些材料强度较高，刚度与硬度较好。但是，当遇到下列情况和要求时，采用塑料更为合适。

- a. 防止共振，并且要求减小声音传递；
- b. 要求有一定的弹性变形，以防止由于意外碰撞而引起的凹痕；
- c. 制品形状复杂，金属成型加工难度大；
- d. 制品希望一次成型，不希望再进行后处理；
- e. 要求制品整体电绝缘（或部分绝缘）和绝热，以及整体着色或要求透明、半透明；
- f. 要求耐腐蚀和耐湿气，并有严格的防锈要求。

**注意：**在使用过程中，有时一种材料并不能满足要求，往往需要几种材料复合使用，此时可考虑采用金属和塑料的复合板或在金属表面上复合塑料的方式来满足设计要求。

（2）低摩擦应用方面的塑料。这类材料通常作为传动件使用，因此，要求材料需具有低的摩擦系数，且耐磨蚀性好，并具有适中至良好的形稳性、耐热性和耐腐蚀性。如果采用其他材料制造，一般使用铜锡合金、青铜、铸铁、不锈钢、合金、预润滑的木材、石墨等。但是，当遇到下列情况和要求时，采用塑料更为合适。

- a. 有腐蚀或磨损；
- b. 在加工过程中，润滑剂会污染产品；



- c. 组件必须在高于或低于普通润滑剂的适用温度下工作；
- d. 要求无保养操作；
- e. 用塑料可避免复杂的润滑体系；
- f. 要求对使用部件进行减重；
- g. 电气使用性能要求电绝缘；
- h. 要求减弱声响、噪声；
- i. 要求尽量减少擦伤和刻痕；
- J. 体系高负荷、低速运行可能会挤出普通润滑剂；
- K. 滑黏性不适宜。

**注意：**在使用过程中，当工作温度长期超过 260℃，有很大的径向负荷、止推负荷，需要连续高速运转，以及长时间内要求轴的偏斜极小或要求轴的磨损先于轴承的磨损时，应考虑用其他材料。

(3) 应力较大的机械零件材料。如齿轮、凸轮、齿条、联轴节、辊子等，这类材料通常要求机械强度高，尤其要求具有高的弯曲、拉伸和冲击强度，在升高温度时仍具有良好的耐疲劳性和稳定性，机械加工性良好，尺寸稳定，能模塑成型精密公差制品。如果采用金属制造，一般使用铸铁、钢、黄铜等。但是，当遇到下列情况和要求时，采用塑料更为合适。

- a. 迫切要求对使用部件进行减重时；
- b. 使用环境沙尘多，有磨蚀和腐蚀；
- c. 要求减小声响或振动；
- d. 希望有综合效能。

**注意：**在使用过程中，如果要求承受重负荷、高工作温度以及需要降低材料成本时，应考虑用其他材料。

(4) 用做化工设备的塑料和耐热塑料。这类材料通常要求材料耐化学腐蚀、吸湿性小，有的还要求耐高低温，具有一般到良好的机械强度。如果采用金属制造时，一般采用不锈钢、钦、铌和其他贵金属。但是，当遇到下列情况和要求时，采用塑料更为合适。

- a. 对耐腐蚀有特别要求，且不锈钢不满足使用；
- b. 要求既耐腐蚀又耐磨损；
- c. 需要降低成本或延长化工设备的使用寿命；
- d. 要求减少保养，便于维修；
- e. 要求绝热，隔热以及耐瞬时高温或烧蚀。

**注意：**在使用过程中，如果要求的机械强度不高，工作温度长期超过 290℃，而且在高低温变动范围很宽的情况下要求尺寸稳定性良好时，应考虑新型复合材料

### 第3章 塑料产品设计的材料选择与常用材料特性

或用其他材料。如果工作条件要求强度很高,而且要有极好的耐腐蚀性,或要求在升高温度情况下极耐腐蚀,或需要借助塑料在高温下慢慢烧蚀来保护金属免受损坏,则可考虑用塑料和其他材料组成的复合材料。

(5)用做电气结构零件的塑料。这类材料通常要求在低至中频下电绝缘性优良,具有高的强度和抗冲击性能,良好的耐疲劳性和耐热性,在升高温度情况下,尺寸稳定性良好。如果采用其他材料制造,一般使用陶瓷、玻璃或云母。但是,当遇到下列情况和要求时,采用塑料更为合适。

- a. 部件在使用过程中,承受着冲击负荷;
- b. 需要对使用部件进行减重;
- c. 尺寸精度要求较严格,陶瓷、玻璃等无机绝缘材料加工达不到要求;
- d. 要求制造形状复杂的导体、绝缘体组合成整体的制品或零件。

**注意:**在使用过程中,聚酯(PETP、PBTP)、氟塑料、聚苯醚、聚砜、聚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、酚醚树脂、新型酚醚树脂、聚对二甲苯也是较好的绝缘材料。作为一般绝缘材料还可采用聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯等。但在使用过程中,如果工作温度极高,或压缩负荷很高时,应考虑用其他材料。

(6)用做透光零件、透明板和模型的塑料。这类材料通常为透明或带色的半透明,要求透光性良好,具有良好至优良的二次成型性和成型加工性,不易碎(耐冲击)、并有一般至良好的拉伸强度。如果采用其他材料制造,一般使用玻璃。但是,当遇到下列情况和要求时,采用塑料更为合适。

- a. 制品要求耐冲击、耐振动、不易击碎;
- b. 制品要求具有一定的可弯性能;
- c. 要求有更高的比强度;
- d. 材料本身必须是天然半透明而不是通过表面处理来达到的;
- e. 要求易于成型形状复杂的制品。

**注意:**在使用过程中,浇铸成型的丙烯酸酯板料,具有较高的强度和透明性,可制造中、低精度透镜,挤压成型用的丙烯酸酯塑料价格较低(尤其是制造薄的制品),并且有较好的二次成型性;在透明塑料中聚碳酸酯具有最高的强度,可制作透明的面罩、防护眼镜或防护板。乙酸、丁酸纤维素具有优良的耐冲击性,并可深延成型;透明聚氯乙烯具有最佳的二次成型性和印刷适应性;乙酸纤维素塑料可用做可弯曲的透明板和防护板;中等抗冲击的聚苯乙烯和硬质聚氯乙烯塑料是价格低廉的透明和半透明材料;聚苯乙烯可制作价格最低的模塑透明部件。目前,烯丙基二甘醇酯树脂(CR-39)是光学领域主要使用的热固性塑料,其透明性,耐磨性,抗冲击性及耐化学性都很好,采用表面镀膜或涂有机硅酮膜来提高其表面硬度和耐磨性,能连续耐100℃,短期内耐150℃,但尚存在吸湿性较大等问题,目前,主



要用于制作镜片。此外，如果要求制品具有极好的耐化学性或者要求适应高的工作温度，或在工作条件下有磨损，在宽广的温度范围内要求有极好的尺寸稳定性，应考虑用其他材料。

## 2. 选择塑料时应注意的几个问题

(1) 必须对选用塑料的性能有较全面的了解，然后根据使用条件去考虑配方、工艺和制品设计等。

(2) 塑料一般导热性低，选用和设计时要充分注意。

(3) 塑料的线胀系数一般比金属大，有的易吸水，因此尺寸变化较大，选用和设计时要考虑恰当的配合间隙和公差范围。

(4) 有的塑料有应力开裂的倾向，选用和设计时要尽量减少应力，制品设计要避免应力集中，或作适当的后处理，并要严格控制加工工艺。

(5) 有的塑料有蠕变、后收缩或变形的倾向，选用和设计时应充分注意。

(6) 各种塑料都有一定的使用强度范围和允许接触的介质，以及能承受的压力和速度极限，选用和设计时应该考虑。

## 3. 塑料材料的选择途径

在选择与确定所设计产品的材料时，可以先进行初选，综合评价后通过试验确定。初选可通过两个途径：一是根据制品用途选材；二是根据制品要求性能选材（利用材料性能表和性能等级分类等），同时还要考虑经济成本和安全卫生等因素。以下列举几种简易的选材方法。

根据用途选材。用途主要是指制品应用的归类，此外还包括制品的使用环境、受力类型和作用方式、使用对象等要素。

(1) 使用环境。所谓使用环境是指材料或制品使用时经受周围环境的温度、湿度、介质等，特别是温度和湿度的条件。不同用途和环境对温度条件的要求也各不相同，如南北极的低温，赤道或沙漠地区的炎热气温、太空环境中的低温、甚至在火灾时的高温等；湿度条件如在水中长期或间歇浸泡与露天雨淋以及冬天的干燥状态（30% RH）等；有的制品是在特殊气体中使用或者用于接触化学液体或溶液的场合；此外，自然暴露状态下除了风、雨、雾等影响外还受太阳光影响。因此，必须考虑待用塑料对使用环境的适应能力。

(2) 制品的受力类型和作用方式。根据制品的受力类型、受力状态及其产生的应变来筛选满足使用要求的材料是很必要的。也就是说，要考虑上述各种环境下的外力作用状况，如拉伸、压缩、弯曲、扭曲、剪切、冲击或摩擦等，以及几种力的组合作用。此外，还要考虑外力的作用方式是快速的（短暂）或恒应力、恒应变的，是反复应力还是渐增应力等。用于冲击负荷场合的制品，应选择抗冲击强度高的；用于恒定应力的场合而且必须防止形变时，应选择蠕变小的材料；用于反应力

作用的场合应选择抗疲劳强度比较高的材料。

(3) 使用对象。使用对象是指使用塑料制品的国别、地区、民族和具体使用者等范畴。例如,国家不同,其标准规格也不同,在美国电气部件使用的塑料,为保证其对热和电气的安全性,要求必须符合 UL 规格。另外,对色彩和图案及形状的要求也会因国家、民族的习惯和爱好而不同,应根据这些因素选择合适的色彩和形状。使用者不同,如儿童、老年、妇女用品也各有不同的要求选择材料时也需要予以考虑。

(4) 按用途进行分类。按用途分类的方法有多种,有的按应用领域分类,如汽车运输业,家用电气设备,机械工业,建筑材料,航空航天等;此外,也可按应用功能分类,如结构材料(外壳、容器等),低摩擦材料(轴承、滑竿、阀衬等),受力机械零件材料,耐热、耐腐蚀材料(化工设备、耐热设备和火箭导弹用材料),电绝缘材料(电气结构制品)、透光材料等。当有几种材料同属一类用途时,应根据其使用特点和材料性能进一步比较和筛选。最好选择 2~3 种进行试验比较。

#### 4. 塑料材料的特点

因为塑料与金属的特性不同,设计受力的塑料零部件时,必须考虑塑料的特点,采用合理的结构设计及合理选材。一般塑料材料的特点如下:

- (1) 塑料受热膨胀,线胀系数比金属大很多;
- (2) 一般塑料的刚度比金属低;
- (3) 塑料的力学性能在长时间受热下会明显下降;
- (4) 一般塑料在常温和低于其屈服强度的应力下长期受力,会出现永久性变形;
- (5) 塑料对缺口损坏很敏感;
- (6) 塑料的力学性能通常比金属低得多,但一部分复合材料的比强度和比模量高于金属,如果制品设计合理,会更能发挥其优越性;
- (7) 部分塑料会吸湿,并引起尺寸和性能变化;
- (8) 部分塑料是可燃的;
- (9) 目前,塑料的疲劳数据还很少,需根据使用要求加以考虑。




3.2 塑料产品设计常用材料特性

塑料产品设计中常用材料的特性见表 3-1～表 3-20。

表 3-1 ABS 的特性

材料名称	ABS	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物
材料质感		
		
典型应用范围		
汽车（仪表板，工具舱门，车轮盖，反光镜盒等），电冰箱，高强度工具（吹风机，搅拌器，食品加工机，割草机等），电话机壳体，键盘，娱乐用车辆（高尔夫球手推车、喷气式雪橇车）等		
注塑模工艺条件		
干燥处理：ABS 材料具有吸湿性，要求在加工之前进行干燥处理。建议干燥温度为 80～90℃，干燥时间大于 2h，材料湿度应保证小于 0.1%。 熔化温度：210～280℃；建议温度：245℃。 模具温度：25～70℃（模具温度将影响塑件表面粗糙度，温度较低将导致表面粗糙度增大）。 注塑压力：500～1000bar。 注塑速度：中高速度		
化学和物理特性		
ABS 是由丙烯腈、丁二烯和苯乙烯三种化学单体构成。每种单体都具有不同性质：丙烯腈有高强度、热稳定性及化学稳定性；丁二烯具有坚韧性、抗冲击特性；苯乙烯具有易加工、低表面粗糙度及高强度。从形态上看，ABS 是非结晶性材料。三种单体聚合产生了具有两相的三元共聚物，一个是苯乙烯-丙烯腈的连续相，另一个是聚丁二烯橡胶分散相。ABS 的特性主要取决于三种单体的比率以及两相中的分子结构。这些条件使其在产品设计上具有很大的灵活性，并且由此产生数以百计不同品质的 ABS 材料。这些不同品质的材料提供了不同的特性，例如，从中等到高等的抗冲击性，从高到低的表面粗糙度和高温扭曲特性等。ABS 极易加工，可根据需要加工成各种外观，同时还具有低蠕变性和优异的尺寸稳定性以及很高的抗冲击强度		


表 3-2 PA6 的特性

材料名称	PA6	聚酰胺 6 或尼龙 6
应用实例		
		
典型应用范围		
由于有较好的机械强度和刚度被广泛用于结构部件，工业生产中广泛用于制造轴承、圆齿轮、凸轮、滑轮、风扇叶片、高压密封圈、耐油密封垫片、耐油容器、轴承保持架、汽车和拖拉机上各种输油管等		

续表

注塑模工艺条件
<p>干燥处理：由于 PA6 很容易吸收水分，因此，加工前的干燥需要特别注意。如果使用前材料为防水包装的，则应保持容器密闭；如果湿度大于 0.2%，建议在 80℃ 以上的热空气中干燥 16h；如果材料已经在空气中暴露超过 8h，建议进行 105℃、8h 以上的真空烘干。</p> <p>熔化温度：230～280℃，对于增强品种为 250～280℃。</p> <p>模具温度：80～90℃，模具温度很显著地影响结晶度，而结晶度又影响着塑件的机械特性。对于结构部件来说结晶度很重要，因此建议模具温度为 80～90℃。对于薄壁的，流程较长的塑件也建议施加较高的模具温度。增大模具温度可以提高塑件的强度和刚度，但会降低其韧性。如果壁厚大于 3mm，建议使用 20～40℃ 的低温模具，对于玻璃增强材料模具温度应大于 80℃。</p> <p>注塑压力：一般为 750～1250bar（取决于材料和产品设计）。</p> <p>注塑速度：高速（对增强型材料要稍微降低）。</p> <p>流道和浇口：由于 PA6 的凝固时间很短，因此浇口的位置非常重要。浇口孔径不要小于 0.5t（t 为塑件厚度）。如果使用热流道，浇口尺寸应比使用常规流道小一些，因为热流道能够帮助防止材料过早凝固。如果用潜入式浇口，浇口的最小直径应为 0.75mm</p>
化学和物理特性
<p>PA6 的化学物理特性和 PA66 很相似，然而，它的熔点较低，而且工艺温度范围很宽。它的抗冲击性和抗溶解性比 PA66 要好，但吸湿性也更强。因为塑件的许多品质特性都要受到吸湿性的影响，因此使用 PA6 设计产品时要充分考虑到这一点。为了提高 PA6 的机械特性，经常加入各种各样的改性剂。玻璃就是最常见的添加剂，有时为了提高抗冲击性还加入合成橡胶，如 EPDM 和 SBR 等。对于没有添加剂的产品，PA6 的收缩率在 1%～1.5%。加入玻璃纤维添加剂可以使收缩率降低到 0.3%（但和流程相垂直的方向还要稍高一些）。成型组装的收缩率主要受材料结晶度和吸湿性影响。实际的收缩率还和塑件设计、壁厚及其他工艺参数成特定关系</p>

表 3-3 PA66 的特性

材料名称	PA66	聚酰胺 66 或尼龙 66
应用实例		
典型应用范围	同 PA6 相比，PA66 更广泛应用于汽车工业、仪器壳体以及其他需要具有抗冲击性和高强度要求的产品	
注塑模工艺条件	<p>干燥处理：如果加工前材料是密封的，无须干燥；如果储存容器被打开，建议在 85℃ 的热空气中干燥处理。如果湿度大于 0.2%，还需要进行 105℃、12h 的真空干燥。</p> <p>熔化温度：260～290℃，对玻璃添加剂的产品为 275～280℃，熔化温度应避免高于 300℃。</p> <p>模具温度：建议 80℃，模具温度将影响结晶度，而结晶度将影响产品的物理特性。对于薄壁塑件，如果使用低于 40℃ 的模具温度，则塑件的结晶度将随时间变化，为了保持塑件的几何稳定性，需要进行退火处理。</p> <p>注塑压力：通常在 750～1250bar，取决于材料和产品设计。</p> <p>注塑速度：高速（对于增强型材料应稍低一些）。</p> <p>流道和浇口：由于 PA66 的凝固时间很短，因此浇口的位置非常重要。浇口孔径不要小于 0.5t（t 为塑件厚度）。如果使用热流道，浇口尺寸应比使用常规流道小一些，因为热流道能够帮助防止材料过早凝固。如果用潜入式浇口，浇口的最小直径应为 0.75mm</p>	

续表

化学和物理特性
<p>PA66 在聚酰胺材料中有较高的熔点。它是一种半晶体-晶体材料。PA66 在较高温度时也能保持较好的强度和刚度。PA66 在成型后仍然具有吸湿性，其程度主要取决于材料的组成、壁厚以及环境条件。在产品的设计时，一定要考虑吸湿性对几何稳定性的影响。为了提高 PA66 的机械特性，经常加入各种改性剂。玻璃就是最常见的添加剂，有时为了提高抗冲击性还加入合成橡胶，如 EPDM 和 SBR 等。PA66 的黏性较低，因此,流动性很好（但不如 PA6）。这个性质可以用来加工很薄的元件。它的黏度对温度变化很敏感。PA66 的收缩率为 1%~2%，加入玻璃纤维添加剂可以将收缩率降低到 0.2%~1%。收缩率在流程方向和与流程方向垂直方向上的差异较大。PA66 对许多溶剂具有抗溶性，但对酸和其他一些氯化剂的抵抗力较弱。</p>

表 3-4 PA12 的特性

材料名称	PA12	聚酰胺 12 或尼龙 12
应用实例		
典型应用范围	<p>广泛用于制造油管、软管、电线电缆被覆层，光纤纤维保护套、轴承支架、齿轮、精密部件以及电子机器的部件、农药储罐、稀酸容器、碱和油类贮槽、汽车刹车软管、离合器软管等。其薄膜可用于油脂和冷冻食品的包装。制成粉末可用做金属表面防腐涂层</p>	
注塑模工艺条件	<p>干燥处理：加工之前应保证湿度在 0.1%以下。如果材料暴露在空气中储存，建议要在 85℃热空气中干燥 4~5h。如果材料是在密闭容器中储存，那么经过 3h 温度平衡即可直接使用。</p> <p>熔化温度：240~300℃；对于普通特性材料不要超过 310℃，对于有阻燃特性材料不要超过 270℃。</p> <p>模具温度：对于未增强型材料为 30~40℃，对于薄壁或大面积元件为 80~90℃，对于增强型材料为 90~100℃。增加温度将增加材料的结晶度。精确地控制模具温度对 PA12 来说是很重要的。</p> <p>注塑压力：最大可到 1000bar（建议使用低压压力和高温化温度）。</p> <p>注塑速度：高速（对于有玻璃添加剂的材料更好）。</p> <p>流道和浇口：对于未加添加剂的材料，由于材料黏性较低，流道直径应在 30mm 左右。对于增强型材料要求 5~8mm 的大流道直径，流道形状应当全部为圆形，注入口应尽可能的短。可以使用多种形式的浇口，大型塑件不要使用小浇口，这是为了避免对塑件过高的压力或过大的收缩率。浇口厚度最好和塑件厚度相等。如果使用潜入式浇口，建议最小的直径为 0.8mm。热流道模具很有效，但是要求温度控制很精确以防止材料在喷嘴处渗漏或凝固。如果使用热流道，浇口尺寸应当比冷流道小一些</p>	
化学和物理特性	<p>PA12 是从丁二烯线性、半结晶-结晶热塑性材料。它的特性和 PA11 相似，但晶体结构不同。PA12 是很好的电气绝缘体并且和其他聚酰胺一样不会因潮湿影响绝缘性能。它有很好的抗冲击性和化学稳定性。PA12 有许多在塑化特性和增强特性方面的改良品种。和 PA6、PA66 相比，这些材料有较低的熔点和密度，具有非常高的回潮率。PA12 对强氧化性酸无抵抗能力。PA12 的黏性主要取决于湿度、温度和储藏时间。它的流动性很好。收缩率为 0.5%~2%，这主要取决于材料品种、壁厚及其他工艺条件</p>	

### 第3章 塑料产品设计的材料选择与常用材料特性

表 3-5 PBT 的特性


材料名称	PBT	聚对苯二甲酸丁二醇酯
应用实例		
		
典型应用范围		
家用器具（如食品加工刀片、真空吸尘器元件、电风扇、吹风机壳体、咖啡器皿、计算机键盘按键等），电器元件（如开关、电机壳、保险丝盒等），汽车工业（如散热器格窗、车身嵌板、车轮盖、门窗部件等）		
注塑模工艺条件		
<p>干燥处理: PBT 在高温下很容易水解，因此加工前的干燥处理是很重要的。建议在空气中的干燥条件为 120℃、6~8h，或者 150℃、2~4h。湿度必须小于 0.03%。如果用吸湿干燥器干燥，建议条件为 150℃、2.5h。</p> <p>熔化温度: 225~275℃，建议温度为 250℃。</p> <p>模具温度: 对于未增强型的材料为 40~60℃。要很好地设计模具的冷却腔道以减小塑件的弯曲。热量的散失一定要快而均匀。建议模具冷却腔道的直径为 12mm。</p> <p>注塑压力: 中等（最大到 1500bar）。</p> <p>注塑速度: 应使用尽可能快的注塑速度（因为 PBT 凝固很快）。</p> <p>流道和浇口: 建议使用圆形流道以增加压力的传递（经验公式: 流道直径=塑件厚度+1.5mm）。也可以使用热流道，但要注意防止材料的渗漏和降解。可以使用各种形式的浇口。浇口直径为 (0.8~1.0) t，这里 t 是塑件厚度。如果是潜入式浇口，建议最小直径为 0.75mm</p>		
化学和物理特性		
<p>PBT 是最坚韧的工程热塑材料之一，它是半结晶材料，有非常好的化学稳定性、机械强度、电绝缘特性和热稳定性、这种材料在复杂的环境条件下都有很好的稳定性。PBT 吸湿特性很弱。非增强型 PBT 的张力强度为 50MPa，玻璃添加剂型的 PBT 张力强度为 170MPa。玻璃添加剂过多将导致材料变脆。PBT 结晶很迅速，可能因冷却不均匀而产生弯曲变形。对于有玻璃添加剂类型的材料，流程方向的收缩率可以减小，但与流程垂直方向的收缩率基本上和普通材料没有区别。一般材料收缩率在 1.5%~2.8%。含 30%玻璃添加剂的材料收缩 0.3%~1.6%之间。熔点(225℃)和高温变形温度都比 PET 材料要低。维卡软化温度大约为 170℃。玻璃化转换温度(Glass Transition Temperature) 为 22~43℃。由于 PBT 的结晶速度很高，因此它的黏性很低，塑件加工的周期时间一般也较低</p>		

表 3-6 PC 的特性

材料名称	PC	聚碳酸酯
应用实例		
		

续表

典型应用范围
<p>其应用主要领域有建筑、汽车工业和电子、电器工业；其次还有工业机械零件、光盘、包装、计算机等办公设备，医疗及保健、薄膜、休闲和防护器材等。PC 可用做门窗玻璃，PC 层压板广泛用于银行、使馆、拘留所以及各类公共场所的防护窗，可用于飞机舱罩，照明设备、工业安全挡板和防弹玻璃。PC 板可做各种标牌，如汽油泵表盘、汽车仪表盘，反光镜框，门框套、操作杆护套、阻流板，还应用于接线盒、插座、插头及套管、垫片、电视转换装置，电话线路支架下通信电缆的连接件，电闸盒、电话总机、配电盘原件，继电器外壳。PC 可做低载荷零件，用于家用电器马达、真空吸尘器、咖啡机、烤面包机、动力工具的手柄，各种齿轮、涡轮、轴套等</p>
注塑模工艺条件
<p>干燥处理：PC 材料具有吸湿性，加工前的干燥很重要。建议干燥条件为 100～200℃、3～4h。加工前的湿度必须小于 0.02%。</p> <p>熔化温度：260～340℃。</p> <p>模具温度：70～120℃。</p> <p>注塑压力：尽可能使用高注塑压力。</p> <p>注塑速度：对于较小的浇口使用低速注塑，对其他类型的浇口使用高速注塑</p>
化学和物理特性
<p>PC 是一种非晶体工程材料，具有很好的抗冲击强度、热稳定性、光泽度、抑制细菌特性、阻燃特性以及抗污染性。PC 的缺口伊估德冲击强度（Notched Izod Impact Strength）非常高，并且收缩率很低，一般为 0.1%～0.2%。PC 有很好的机械特性，但流动特性较差，因此，这种材料的注塑过程较困难。在选用何种品质的 PC 时，要以产品的设计目标为基准。如果塑件要求有较高的抗冲击性，那么就使用低流动率的 PC；反之，可以使用高流动率的 PC，这样可以优化注塑过程</p>

表 3-7 PC/ABS 的特性

材料名称	PC/ABS	聚碳酸酯和丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物和混合物
应用实例		
典型应用范围	<p>广泛应用于办公自动化和汽车领域。在办公自动化领域，因其良好的刚性、耐冲击性和易成型性等特点被用于制造传真机、复印机、电子计算机、移动电话的壳体；在汽车领域，因具有良好的耐冲击性、耐候性、刚性和尺寸稳定性而应用相当广泛，如车顶纵梁、后阻流板等</p>	

续表

注塑模工艺条件
干燥处理：加工前必须进行干燥处理。湿度应小于 0.04%，建议干燥条件为 90～110℃、2～4h。 熔化温度： 230～300℃。 模具温度：50～100℃。 注塑压力：取决于塑件。 注塑速度：高速
化学和物理特性
PC/ABS 具有 PC 和 ABS 两者的综合特性，有 ABS 的加工性和 PC 的抗冲击性、耐热性，以及优异的流动性，热变形温度可达 80～137℃，具有良好的机械强度、韧性和阻燃性。PC 与 ABS 二者的比例将影响 PC/ABS 的综合特性

表 3-8 PC/ PBT 的特性

材料名称	PC/PBT	聚碳酸酯和聚对苯二甲酸丁二醇酯的混合物
应用实例		
典型应用范围	齿轮箱、汽车保险杠以及要求具有化学稳定性和耐腐蚀性、热稳定性、抗冲击性以及几何稳定性的产品	
注塑模工艺条件	干燥处理：建议 110～135℃，约 4h 的干燥处理。 熔化温度：235～300℃。 模具温度：37～93℃	
化学和物理特性	PC/PBT 具有 PC 和 PBT 二者的综合特性，结晶速度快，可快速成型；吸水率低，电气性能优异且随温湿度变化小；耐候性好，适于户外使用，且耐药品性优异；力学性能优良。纯 PBT 树脂有优异的冲击韧性，但对缺口敏感，经玻纤增强后，不仅可使缺口敏感性得到改善，而且还能使热变形温度大大提高，弯曲模量成倍增长；突出的耐摩擦、耐磨耗特性，磨耗量比 POM 还小。此外，具有 PC 的高韧性和几何稳定性以及 PBT 的化学稳定性、热稳定性和润滑特性等	

表 3-9 PE-HD 的特性

材料名称	PE-HD	高密度聚乙烯
应用实例		



续表

典型应用范围
冰箱内部容器、存储容器、家用厨具、密封盖等
注塑模工艺条件
干燥处理：如果存储恰当则无须干燥。 熔化温度：220~260℃。对于分子较大的材料，建议熔化温度范围为200~250℃。 模具温度：50~95℃。6mm以下壁厚的塑件应使用较高的模具温度，6mm以上壁厚的塑件使用较低的模具温度。塑件冷却温度应当均匀以减小收缩率的差异。对于最优的加工周期时间，冷却腔道直径应不小于8mm，并且距模具表面的距离应在1.3d之内（d为冷却腔道的直径）。 注塑压力：700~1050bar。 注塑速度：建议使用高速注塑。 流道和浇口：流道直径为4~7.5mm，流道长度应尽可能短。可以使用各种类型的浇口，浇口长度不要超过0.75mm，特别适用于使用热流道模具
化学和物理特性
PE-HD的高结晶度导致了它的高密度，抗张强度，高温扭曲温度，黏性以及化学稳定性。PE-HD比PE-LD有更强的抗渗透性。PE-HD的抗冲击强度较低。PE-HD的特性主要由密度和分子量分布所控制。适用于注塑模的PE-HD分子量分布很窄。对于密度范围为0.91~0.925g/cm <sup>3</sup> 的，称为第一类型PE-HD；对于密度范围为0.926~0.94g/cm <sup>3</sup> 的，称为第二类型PE-HD；对于密度范围为0.94~0.965g/cm <sup>3</sup> 的，称为第三类型PE-HD。该材料的流动特性很好，MFR为0.1~28。分子量越高，PE-HD的流动特性越差，但是有更好的抗冲击强度。PE-HD很容易发生环境应力开裂现象。可以通过使用很低流动特性的材料以减小内部应力，从而减轻开裂现象。PE-HD当温度高于60℃时很容易在烃类溶剂中溶解，但其抗溶解性比PE-LD要好一些

表 3-10 PE-LD 的特性

材料名称	PE-LD	低密度聚乙烯
应用实例		
		
典型应用范围	各类生活用品（如碗、盆等），箱柜，管道连接器等	
注塑模工艺条件	干燥处理：一般不需要特别处理。 熔化温度：180~280℃。 模具温度：20~40℃，为了实现冷却均匀以及较为经济的去热，建议冷却腔道直径至少为8mm，并且从冷却腔道到模具表面的距离不要超过冷却腔道直径的1.5倍。 注塑压力：最大可到1500bar。 保压压力：最大可到750bar。 注塑速度：建议使用快速注塑速度。 流道和浇口：可以使用各种类型的流道和浇口，PE-LD特别适合于使用热流道模具	



续表

化学和物理特性
工业用的 PE-LD 材料的密度为 0.91~0.94 g/cm <sup>3</sup> 。PE-LD 对气体和水蒸气具有渗透性。PE-LD 的热膨胀系数很高不适用于加工长期使用的制品。如果 PE-LD 的密度在 0.91~0.925 g/cm <sup>3</sup> 之间,那么其收缩率在 2%~5%之间;如果密度在 0.926~0.94 g/cm <sup>3</sup> 之间,那么其收缩率在 1.5%~4%之间。当前实际的收缩率还要取决于注塑工艺参数。PE-LD 在室温下可以抵抗多种溶剂,但是芳香烃和氯化烃溶剂可使其膨胀。同 PE-HD 类似,PE-LD 容易发生环境应力开裂现象

表 3-11 PEI 的特性

材料名称	PEI	聚乙醚
应用实例	 	
典型应用范围	汽车工业(发动机配件如温度传感器、燃料和空气处理器等),电器及电子设备(电气联结器、印刷电路板、芯片外壳、防爆盒、普通和微型继电器外壳、电路板、线圈、软性电路、反射镜、高精密度光纤元件等),产品包装,飞机内部设备(舷窗、机头部件、座位靠背、内壁板等),医药行业(医疗外科手术器械的手柄、托盘、夹具、假肢、医用灯反射镜和牙科用具),食品工业(产品包装、微波炉的托盘等)	
注塑模工艺条件	干燥处理: PEI 具有吸湿特性并可导致材料降解。要求湿度值应小于 0.02%。建议条件为 150℃、4h 的干燥处理。 熔化温度: 普通类型材料为 340~400℃,增强类型材料为 340~415℃。 模具温度: 107~175℃,建议模具温度为 140℃。 注塑压力: 700~1500bar。 注塑速度: 使用尽可能高的注塑速度	
化学和物理特性	PEI 具有很强的耐高温稳定性,即使是非增强型的 PEI,仍具有很好的韧性和强度。因此利用 PEI 优越的热稳定性可用来制作高温耐热器件。PEI 还有良好的阻燃性、抗化学反应以及电绝缘特性。玻璃转化温度很高,达 215℃。PEI 还具有很低的收缩率及良好的机械性能	



表 3-12 PET 的特性

材料名称	PET	聚对苯二甲酸乙二醇酯
应用实例		
		
典型应用范围		
<p>汽车工业（结构器件如反光镜盒，电气部件如车头灯反光镜等），电器元件（电机壳体、电气联结器、继电器、开关等），工业应用（泵壳体、手工器械等），食品包装应用（碳酸气饮料瓶、啤酒瓶、食用油瓶、调味品瓶、药品瓶、化妆品瓶等）</p>		
注塑模工艺条件		
<p>干燥处理：加工前必须进行干燥处理是因为PET 的吸湿性较强。建议干燥条件为120～165℃、4/h。要求湿度应小于 0.02%。</p> <p>熔化温度：对于非填充类型为265～280℃；对于玻璃填充类型为 275～290℃。</p> <p>模具温度：80～120℃。</p> <p>注塑压力：300～1300bar。</p> <p>注塑速度：在不导致脆化的前提下可使用较高的注塑速度。</p> <p>流道和浇口：可以使用所有常规类型的浇口。浇口尺寸应当为塑件厚度的 50%～100%</p>		
化学和物理特性		
<p>PET 具有良好的力学性能、电绝缘性、耐化学药品性、耐蠕变性能、耐疲劳性能及耐摩擦性能等；其缺点是结晶速率低、抗冲击能力差。PET 的玻璃化转化温度为 165℃左右，材料结晶温度范围为 120～220℃。PET 在高温下有很强的吸湿性。对于玻璃纤维增强型的 PET 来说，在高温下还非常容易发生弯曲形变。可以通过添加结晶增强剂来提高材料的结晶程度。用 PET 加工的透明制品具有高光泽度和热扭曲温度。可以向 PET 中添加云母等特殊添加剂使弯曲变形减少到最小。如果使用较低的模具温度，那么使用非填充的 PET 也可获得透明制品</p>		

### 第3章 塑料产品设计的材料选择与常用材料特性

表 3-13 PETG 的特性

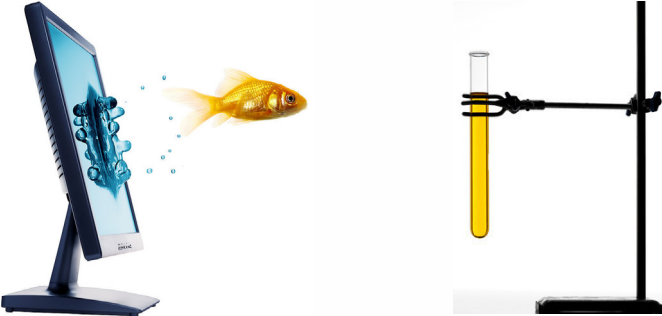
材料名称	PETG	乙二醇改性-聚对苯二甲酸乙二醇酯
应用实例		
		
典型应用范围		
医药设备（试管、试剂瓶等），玩具，显示器，光源外罩，防护面罩，冰箱保鲜盘等		
注塑模工艺条件		
干燥处理：加工前必须干燥处理。湿度必须低于 0.04%。建议干燥条件为 65℃、4h，注意干燥温度不要超过 66℃。		
熔化温度：220～290℃。		
模具温度：10～30℃，建议为 15℃。		
注塑压力：300～1300bar。		
注塑速度：在不导致脆化的前提下可使用较高的注塑速度		
化学和物理特性		
PETG 是一种非晶型共聚酯，其制品高度透明，抗冲击性能优异，特别适宜成型厚壁透明制品，其加工成型性能极佳，能够按照设计者的意图进行任意形状的设计；可以采用传统的挤出、注塑、吹塑及吸塑等成型方法；可以广泛应用于板材片材、高性能收缩膜、容器及异型材等市场。此外，其二次加工性能优良，可以进行常规的机加工修饰。玻璃化转化温度为 88℃。PETG 的注塑工艺条件的允许范围比 PET 要广一些，并具有透明、高强度、高韧性的综合特性		


表 3-14 PMMA 的特性

材料名称	PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯
应用实例		
		

续表

典型应用范围
汽车工业（信号指示设备、仪表盘等），医药行业（储血容器等），工业应用（影碟、灯光散射器），日用消费品（饮料杯、仪表、生活用品、文具等），广告行业（广告灯箱、标牌等），以及家具行业
注塑模工艺条件
干燥处理：PMMA 具有吸湿性因此加工前的干燥处理是必须的。建议干燥条件为 90℃、2～4h。 熔化温度：240～270℃。 模具温度：35～70℃。 注塑速度：中等
化学和物理特性
PMMA 俗称亚克力或有机玻璃，是一种热塑性塑料，相对密度为 1.19～1.20，有极高的透明度，透射率高达 91%～93%，可透过可见光 99%，紫外光 72%，重量轻，抗冲击强度为普通硅玻璃的 12～18 倍，机械强度和韧性是普通玻璃 10 倍以上，硬度未加处理前 2H 以上，经表面强化后表面硬度可达 5H 以上，抗划伤，具有突出的耐候性和耐老化性，在中低温（-50～60℃）和较高温度（80℃以下）冲击强度不变，有良好的电绝缘性能，可耐电弧，化学性能稳定，能耐一般的化学腐蚀。PMMA 常见厚度为 0.65/0.8/1.0/1.2/1.5/2.0/3.0mm，颜色除透明外还有其他各种颜色可选择,另外板材表面可做镀膜处理，根据客户要求可镀 Ni、Cr、Al 等，透光率则按客户指定。PMMA 具有优良的光学特性及耐气候变化特性。PMMA 制品具有很低的双折射，特别适合制作影碟等。PMMA 具有室温蠕变特性。随着负荷加大、时间增长，可导致应力开裂现象

表 3-15 POM 的特性

材料名称	POM	聚 甲 醛
应用实例		
典型应用范围	家用电器（洗衣机、果汁机零件、定时器组件等），汽车行业（车把零件、电动窗零件等），工业零件（机械零件、齿轮、螺杆等）。POM 具有很低的摩擦系数和很好的几何稳定性，特别适合于制作齿轮和轴承。由于它还具有耐高温特性，因此还用于管道器件（管道阀门、泵壳体）等	
注塑模工艺条件	干燥处理：如果材料储存在干燥环境中，通常不需要干燥处理。 熔化温度：均聚物材料为 190～230℃；共聚物材料为 190～210℃。 模具温度：80～105℃。为了减小成型后收缩率可选用较高的模具温度。 注塑压力：700～1200bar 注塑速度：中等或偏高的注塑速度。 流道和浇口：可以使用任何类型的浇口。如果使用隧道形浇口，则最好使用较短的类型。对于均聚物材料建议使用热注嘴流道；对于共聚物材料既可使用内部热流道也可使用外部热流道	

续表

化学和物理特性
POM 是一种坚韧有弹性的材料，即使在低温下仍有很好的抗蠕变特性、几何稳定性和抗冲击特性。POM 既有均聚物材料也有共聚物材料。具有高机械强度和刚性、很高的抗疲劳强度，环境耐候性好，耐有机溶剂性佳，耐反复冲击性强，广泛的使用温度范围为-40～120℃。此外，它还具有良好的电气性能、良好的复原性、良好的润滑性、耐磨性和尺寸稳定性。均聚物材料具有很好的延展强度、抗疲劳强度，但不易于加工，共聚物材料有很好的热稳定性、化学稳定性并且易于加工。无论均聚物材料还是共聚物材料，都是结晶性材料且不易吸收水分。POM 的高结晶程度导致它有相当高的收缩率，可高达 2%～3.5%，对于各种不同的增强型材料有不同的收缩率

表 3-16 PP 的特性


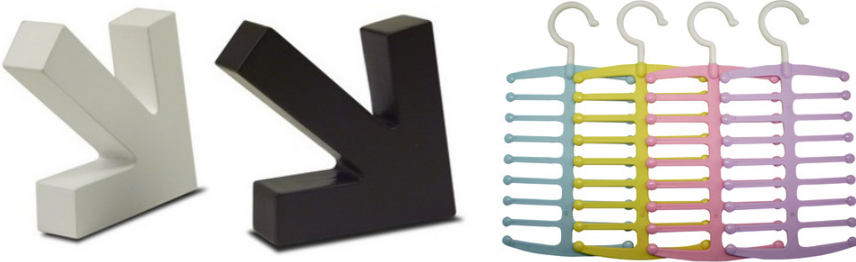
材料名称	PP	聚 丙 烯
应用实例		
典型应用范围	汽车工业（主要使用含金属添加剂的 PP：如挡泥板、通风管、风扇等），电器零部件（洗碗机门衬垫、干燥机通风管、洗衣机框架及机盖、冰箱门衬垫等），日用消费品（编织袋、防水布、喷水器、地毯等）	
注塑模工艺条件	<p>干燥处理：如果储存适当则不需要干燥处理。</p> <p>熔化温度：220～275℃，注意不要超过 275℃。</p> <p>模具温度：40～80℃，建议使用 50℃。结晶程度主要由模具温度决定。</p> <p>注塑压力：可达到 1800bar。</p> <p>注塑速度：通常使用高速注塑可以使内部压力减小到最小。如果制品表面出现了缺陷，应使用较高温度下的低速注塑。</p> <p>流道和浇口：对于冷流道，典型的流道直径范围是 4～7mm。建议使用通体为圆形的注入口和流道。所有类型的浇口都可以使用。典型的浇口直径范围是 1～1.5mm，但也可以使用小到 0.7mm 的浇口。对于边缘浇口，最小的浇口深度应为壁厚的一半；最小的浇口宽度应至少为壁厚的两倍。PP 材料也可以使用热流道系统</p>	
化学和物理特性	<p>PP 是一种半结晶性材料。它比 PE 更坚硬并且有更高的熔点。由于均聚物型的 PP 温度高于 0℃以上时非常脆，因此许多商业的 PP 材料需加入 1%～4%乙烯的无规则共聚物或更高比率乙烯含量的钳段式共聚物。共聚物型的 PP 材料有较低的热扭曲温度（100℃）、低透明度、低光泽度、低刚性，但是有很强的抗冲击强度。PP 的强度随着乙烯含量的增加而增大。PP 的维卡软化温度为 150℃。由于结晶度较高，材料表面刚度和抗划痕特性良好。PP 不存在环境应力开裂问题。通常采用加入玻璃纤维、金属添加剂或热塑橡胶的方法对 PP 进行改性。PP 的流动率 MFR 为 1～40。低 MFR 的 PP 材料抗冲击特性较好但延展强度较低。对于相同 MFR 的材料，共聚物型的强度比均聚物型的要高。由于结晶，PP 的收缩率相当高，一般为 1.8%～2.5%。并且收缩率的方向均匀性比 PE-HD 等材料要好得多。加入 30%的玻璃添加剂可以使收缩率降到 0.7%。均聚物型和共聚物型的 PP 材料都具有优良的抗吸湿性、抗酸碱腐蚀性、抗溶解性，但对芳香烃（如苯）溶剂、氯化烃（四氯化碳）溶剂等没有抵抗力。PP 也不像 PE 那样在高温下仍具有抗氧化性</p>	

表 3-17 PPE 的特性

材料名称	PPE	聚丙烯
应用实例		
		
典型应用范围		
家电产品（洗碗机、洗衣机等），电气设备如控制器壳体、光纤连接器等		
注塑模工艺条件		
<p>干燥处理：建议在加工前进行 2~4h、100℃ 的干燥处理。</p> <p>熔化温度：240~320℃。</p> <p>模具温度：60~105℃。</p> <p>注塑压力：600~1500bar。</p> <p>流道和浇口：可以使用所有类型的浇口。特别适合于使用柄形浇口和扇形浇口</p>		
化学和物理特性		
<p>通常商业上提供的 PPE 或 PPO 材料一般都混入了其他热塑型材料例如 PS、PA 等。这些混合材料一般仍称为 PPE 或 PPO。混合型的 PPE 或 PPO 比纯净的材料有更好的加工特性。特性的变化依赖于混合物（如 PPO 和 PS）的比率。混入了 PA 66 的混合材料在高温下具有更强的化学稳定性。这种材料的吸湿性很小，其制品具有优良的几何稳定性。混入了 PS 的材料是非结晶性的，而混入了 PA 的材料是结晶性的。加入玻璃纤维添加剂可以使收缩率减小到 0.2%。这种材料还具有优良的电绝缘特性和很低的热胀系数。其黏性取决于材料中混合物的比率，PPO 的比率增大将导致黏性增加</p>		

表 3-18 PS 的特性

材料名称	PS	聚苯乙烯
应用实例		
		
典型应用范围		
包装、玩具、挂衣架、家用产品、电子产品、模具箱、一次性杯子等		

续表

注塑模工艺条件
干燥处理：除非储存不当，通常不需要干燥处理。如果需要干燥，建议干燥条件为 80℃、2～3/h。 熔化温度：180～280℃。对于阻燃型材料其上限为 250℃。 模具温度：40～50℃。 注塑压力：200～600bar。 注塑速度：建议使用快速的注塑速度。 流道和浇口：可以使用所有常规类型的浇口
化学和物理特性
大多数商业用的 PS 都是透明的、非晶体材料。PS 具有非常好的几何稳定性、热稳定性、光学透过特性、电绝缘特性以及很微小的吸湿性。它能够抵抗水、稀释的无机酸，但能够被强氧化酸如浓硫酸所腐蚀，并且能够在一些有机溶剂中膨胀变形。玻璃化温度为 80～90℃，非晶态密度 1.04～1.06g/cm <sup>3</sup> ，晶体密度 1.11～1.12 g/cm <sup>3</sup> ，熔融温度为 240℃，电阻率为 1020～1022Ω·cm。导热系数 30℃时为 0.116EW/m·k。通常的聚苯乙烯为非晶态无规聚合物，具有优良的绝热、绝缘和透明性，长期使用温度为 0～70℃，但易脆，低温易开裂。此外还有全同和间同立构聚苯乙烯。全同聚合物有高度结晶性。典型的收缩率为 0.4～0.7%。



表 3-19 PVC 的特性

材料名称	PVC	聚氯乙烯
应用实例		
典型应用范围	供水管道，房屋墙板，商用机器壳体，电子产品包装，医疗器械，食品包装，生活日用品如凉鞋、鞋底、拖鞋、雨衣、桌布、窗帘、充气玩具等，以及汽车配件	
注塑模工艺条件	干燥处理：通常不需要干燥处理。 熔化温度：185～205℃。 模具温度：20～50℃。 注塑压力：可大到 1500bar。 保压压力：可大到 1000bar。 注塑速度：为避免材料降解，一般要用较快的注塑速度。 流道和浇口：所有常规的浇口都可以使用。如果加工较小的部件，最好使用针尖型浇口或潜入式浇口；对于较厚的部件，最好使用扇形浇口。针尖型浇口或潜入式浇口的最小直径应为 1mm；扇形浇口的厚度不能小于 1mm	

续表

化学和物理特性
<p>刚性 PVC 是使用最广泛的塑料材料之一。PVC 是一种非结晶性材料，在实际使用中经常加入稳定剂、润滑剂、辅助加工剂、色料、抗冲击剂及其他添加剂。PVC 具有阻燃性、高强度、耐气候变化性以及优良的几何稳定性。PVC 对氧化剂、还原剂和强酸都有很强的抵抗力，但能够被浓氧化性酸如硫酸、硝酸所腐蚀并且也不适用与芳香烃、氯化烃接触的场合。PVC 在加工时熔化温度是一个非常重要的工艺参数，如果此参数不当将导致材料分解的问题。PVC 的流动特性相当差，其工艺范围很窄。特别是大分子量的 PVC 更难于加工（这种材料通常要加入润滑剂改善流动特性），因此通常使用的都是小分子量的 PVC。PVC 的收缩率相当低，一般为 0.2%~0.6%</p>

表 3-20 SA 的特性

材料名称	SA	苯乙烯-丙烯腈共聚物
应用实例		
 		
典型应用范围		
<p>办公用具（光盘盒、仪表透明外壳、计算机卷纸器、蓄电池箱、按键帽、计算器和打印机工作台等），日用商品（厨房用具，餐具、食品刀具等，冰箱装置，电视机底座，插座等），汽车工业（车头灯盒、反光镜、仪表盘等），化妆品包装（化妆盒、口红套管、帽盖喷雾器和喷嘴等）</p>		
注塑模工艺条件		
<p>干燥处理：如果储存不适当，SA 有一些吸湿特性。建议的干燥条件为 80℃、2~4h。</p> <p>熔化温度：200~270℃。如果加工厚壁制品，可以使用低于下限的熔化温度。</p> <p>模具温度：40~80℃。对于增强型材料，模具温度不要超过 60℃。冷却系统必须很好地进行设计，因为模具温度将直接影响制品的外观和收缩率。</p> <p>注塑压力：350~1300bar。</p> <p>注塑速度：建议使用高速注塑。</p> <p>流道和浇口:所有常规的浇口都可以使用。浇口尺寸必须恰当，以避免产生条纹、糊斑和空隙</p>		
化学和物理特性		
<p>SA 是一种坚硬、透明的材料。苯乙烯成分使 SA 坚硬、透明并易于加工；丙烯腈成分使 SA 具有化学稳定性和热稳定性。SA 具有很强的承受负荷的能力、抗化学反应能力、抗热变形特性和几何稳定性。SA 中加入玻璃纤维添加剂可以增加强度和抗热变形能力，减小热胀系数。SA 的维卡软化温度约为 110℃。负荷下挠曲变形温度约为 100℃。SA 的收缩率约为 0.3%~0.7%。热变形温度为 200~230℃（182MPa 下），所制品的最高使用温度受应力、周围的化学介质环境和取向度的影响很大，但 185℃的连续使用温度是完全能够达到的。SA 的断裂拉伸强度为 69~83MPa，其弯曲强度和弹性模量一般较高</p>		

## 第 4 章

# 塑料成型技术与工艺







注塑成型（Injection Molding）是指受热融化的材料通过高压射入模腔，经冷却固化后，得到成型品的方法。该方法适用于形状复杂部件的批量生产，是重要的加工方法之一。自从往复式螺杆注射机于 1956 年获得专利以来，塑料成型工艺或注塑成型工艺已经发展成为塑料工业最重要的加工手段。其应用于汽车内部零部件、电子产品的外壳、家用器皿、医疗设备等，并且逐步替代传统金属制品的一些领域。

**注射机的工作原理：**注射机的工作原理与医用注塑器相似，它是借助螺杆（或柱塞）的推力，将已塑化好的熔融状态（黏流态）的塑料注入闭合好的模腔内，经固化定型后取得制品的工艺过程。注塑过程示意图，如图 4-1 所示。

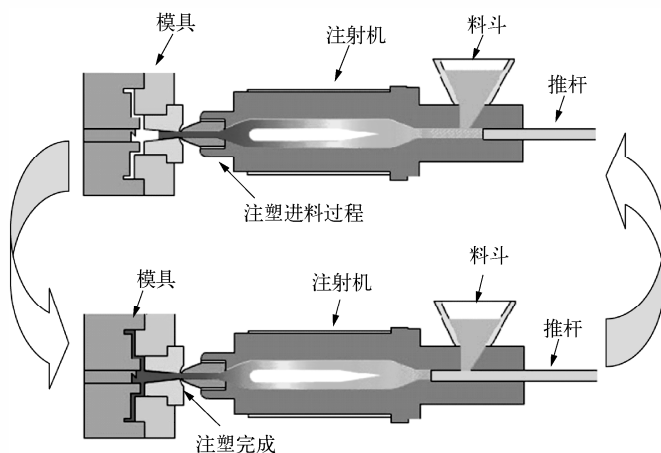


图 4-1 注塑进料及完成示意图

注塑成型是一个循环的过程，每一周期主要包括：定量加料—熔融塑化—施压注塑——充模冷却——启模取件。取出塑件后又再闭模，进行下一个循环，如图 4-2 所示。

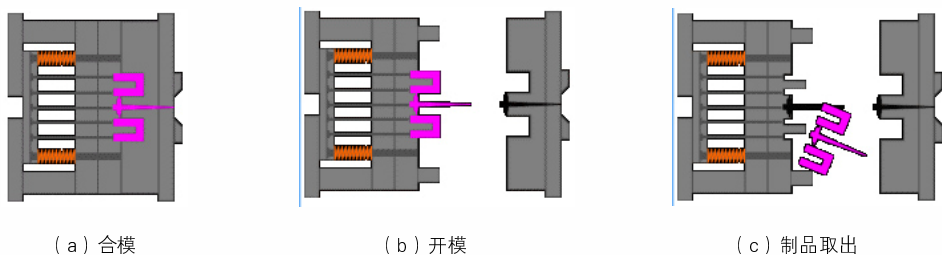


图 4-2 注塑成型过程示意图

注塑成型工艺包括在注射机中将塑料熔融，用挤塑螺杆将塑料注塑进模具，塑料在模具中进行冷却。在注塑成型工艺中，速度和稳定性是制品质量最关键的要素。塑料注塑成型过程大致可分为以下 6 个阶段：合模、注塑、保压、冷却、开模、制品取出。

构成注塑的两大核心要素由注射机与注塑模具所组成。其中注射机根据塑化方式分为柱塞式注射机（图 4-3）和螺杆式注射机（图 4-4）；按机器的传动方式又可分为液压式、机械式和液压—机械（连杆）式；按操作方式分为自动、半自动和手动式；按照机身形式又分为卧式注射机、立式注射机、角式注射机、多模转盘式注射机。

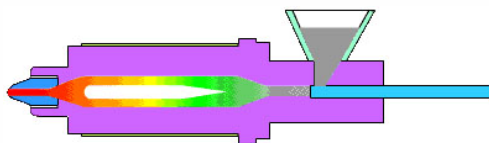


图 4-3 柱塞式注射机

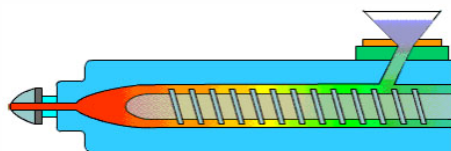


图 4-4 螺杆式注射机

（1）卧式注射机：如图 4-5 所示，这是最常见的注射机类型。其合模部分和注塑部分处于同一水平线上，且模具是沿水平方向打开的。其特点是机身矮，易于操作和维修；机器重心低，安装较平稳；制品顶出后可利用重力作用自动落下，易于实现全自动操作。目前，市场上的注射机多采用此种形式。

（2）立式注射机：如图 4-6 所示，其合模部分和注塑部分处于同一垂直线上，且模具是沿垂直方向打开的。因此，其占地面积较小，容易安放嵌件，装卸模具较方便，自料斗落入的物料能较均匀地进行塑化。但制品顶出后不易自动落下，必须用手取下，不易实现自动操作。立式注射机多为小型注射机，一般是在 60g 以下的注射机采用较多，大、中型机不宜采用。



图 4-5 卧式注射机



图 4-6 立式注射机

（3）角式注射机：如图 4-7 所示，其注塑方向和模具分界面在同一平面上，特别适合于加工中心部分不允许留有浇口痕迹的平面制品。其占地面积比卧式注射机小，但放入模具内的嵌件容易倾斜落下。这种形式的注射机多为小型机。

（4）多模转盘式注射机：如图 4-8 所示，它是一种多工位操作的特殊注射机，其特点是合模装置采用了转盘式结构，模具围绕转轴转动。这种形式的注射机充分发挥了注塑装置的塑化能力，可以缩短生产周期，提高机器的生产能力，因此，特别适合于冷却定型时间长或因安放嵌件而需要较多辅助时间的大批量制品的生产，



但因合模系统庞大、复杂，合模装置的合模力往往较小。这种注射机在塑料鞋底等制品生产中应用较多。



图 4-7 角式注射机



图 4-8 多模转盘式注射机

注射机通常由注塑装置、合模装置、液压传动系统和电气控制系统等部分组成。注塑成型的基本要求是塑化、注塑和成型。塑化是实现和保证成型制品质量的前提，而为满足成型的要求，注塑时必须保证足够的压力和速度。

## 4.1 塑料成型常见种类

(1) 注塑成型：是指塑料材料先在注射机的加热料筒中受热熔融，而后由往复式螺杆将熔体推挤到闭合模具的模腔中成型的一种方法。它不仅可在高生产率下制得高精度、高质量的制品，而且可加工的塑料品种多、产量大（约为塑料总量的 1/3）且用途广，主要应用于家电、数码产品等领域（图 4-9）因此，注塑是塑料加工中重要成型方法之一。

(2) 挤出成型：挤出成型是在挤出机中通过加热、加压而使塑料以流动状态连续通过口模成型的方法。一般用于板材、管材、单丝、扁丝、薄膜、电线电缆的包覆等的成型，如图 4-10 所示，其用途广、产量高，因此，也是塑料加工中重要成型方法之一。



图 4-9 MP4 外壳



图 4-10 塑料型材

(3) 发泡成型：是指在发泡材料中加入适当的发泡剂，根据使用与设计需要产生相应的气孔。发泡制品具有相对密度小，比强度高，原料用量少以及隔音、隔热等优点，发泡材料有 PVC、PE 和 PS 等。其制品有薄膜、板材、管材、型材等，如发泡材料制成的拖鞋如图 4-11 所示。发泡可分为化学发泡和物理发泡。

(4) 吹塑成型：吹（胀膜）塑成型（或称中空吹塑）是指借助流体（压缩空气）压力将闭合模中热的热塑性塑料型坯或片材吹胀成为中空制品的一种成型方法。用这种方法生产的塑料容器，如各种瓶子、瓶盖（图 4-12），各形状的桶、汽油箱等已得到广泛应用；新开发的各种工业零部件和日用制品，如双层壁箱形制品，L-环形大圆桶，码垛板，冲浪板，坐椅靠背及课桌，以及汽车的前阻流板、皮带罩、仪表板、空调通风管等，也已在实践中应用。其应用领域正逐渐从日用塑料向工程塑料方向发展。现在吹塑法已成为塑料加工中重要的成型方法之一。吹塑过程的基本步骤是①熔化材料；②将熔融树脂形成管状物或型坯；③将中空型坯吹塑模中熔封；④将模内型坯吹胀；⑤冷却吹塑制品；⑥从模中取出制品；⑦修整。



图 4-11 发泡拖鞋



图 4-12 瓶盖

(5) 注塑吹塑成型：注塑吹塑是一种特殊的吹塑方法。先用注塑法将塑料制成有底型坯，然后将它移至吹塑模中吹制成中空制品。这种方法常用于生产日用品、化妆品、医药、食品等的包装容器，如图 4-13 所示。但其容积一般不超过 1L。常用的塑料有聚乙烯、聚苯乙烯和聚氯乙烯等。

(6) 挤出吹塑成型：如图 4-14 所示，挤出吹塑是一种特殊的吹塑方法，与注塑吹塑不同的是其型坯用挤出法制造。

(7) 拉伸吹塑成型：如图 4-15 所示，拉伸吹塑是一种特殊的吹塑方法。它是用挤出、注塑等方法制成型坯，然后将型坯加热至拉伸温度，经内部（如芯棒）或外部（如夹具）的机械力作用而进行纵向拉伸，同时或稍后经压缩空气吹胀而进行横向拉伸成型的。



图 4-13 容器壶



图 4-14 挤出吹塑成型的容器瓶



图 4-15 拉伸吹塑成型的管型接头

## 4.2 普通注塑成型

普通注塑成型是指采用立式或者卧式注射机，通过模具一次成型的注塑工艺。这种注塑成型制品在日常生活中很常见。其主要特点体现为成型技术普及、注塑技术成熟、模具制造成本较低等。制品具有多样性，可以根据不同颜色的塑料材料进行成型，从而形成多系列化色彩的制品，如图 4-16 所示为注塑成型家具。



图 4-16 塑料家具

### 4.2.1 注塑成型的特点

到目前为止，除氟塑料以外，几乎所有的热塑性塑料都可以用注塑成型的方法成型；另外，一些流动性好的热固性塑料也可用注塑成型。但注塑成型也有着不同的优点与缺点，具体体现在以下几个方面。

注塑成型的优点：

- (1) 成型周期短、生产效率高、易于实现自动化；
- (2) 能成型形状复杂、尺寸精确、带有金属或非金属嵌件的塑料制件；
- (3) 产品质量稳定；
- (4) 适用范围广。

注塑成型的缺点：

- (1) 注塑设备价格较高；
- (2) 注塑模具结构复杂；
- (3) 生产成本高、生产周期长、不适合于单件小批量的塑件生产。

### 4.2.2 注塑成型机（注射机）

注塑成型机包括合模装置与注塑装置。合模装置主要作用是实现模具开闭以及顶出制品。合模装置可分为连杆式和直接利用油压实行合模的直压式。注塑装置是使树脂材料受热融化后射入模具内的装置。如图 4-17 所示从料斗把原料挤入料筒中，通过螺杆的转动将熔体输送至机筒的前端。此过程中，在加热器的作用下使机筒内的原料受热，在螺杆的剪切应力作用下使原料成为熔融状态，将相当于成型品及主流道、分流道的熔融原料滞留于机筒的前端（称为计量），螺杆的不断向前将材料射入模腔。当熔融原料在模具内流动时，须控制螺杆的移动速度（射出速度），并在原料充满模腔后用压力（保压力）进行控制（注塑压力达到一定值时，可以将速度控制切换成压力控制）。

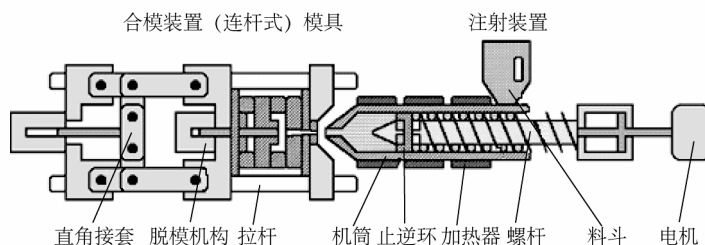


图 4-17 注射机示意图

### 4.2.3 模具

模具是指用来成型物品的工具或装置，模具组成示意图如图 4-18 所示，在实际塑料模具设计中为了控制模具的温度，在模具上还要使用冷媒（温水或油）通过的冷却孔、加热器等装置。其中，主流道是为了分流熔体材料至分流道，从而引导



熔体材料进入浇口，进而射入模腔内，然后经过冷却阶段后打开模具，成型机上的顶出装置会把顶出杆顶出，将制品推出。

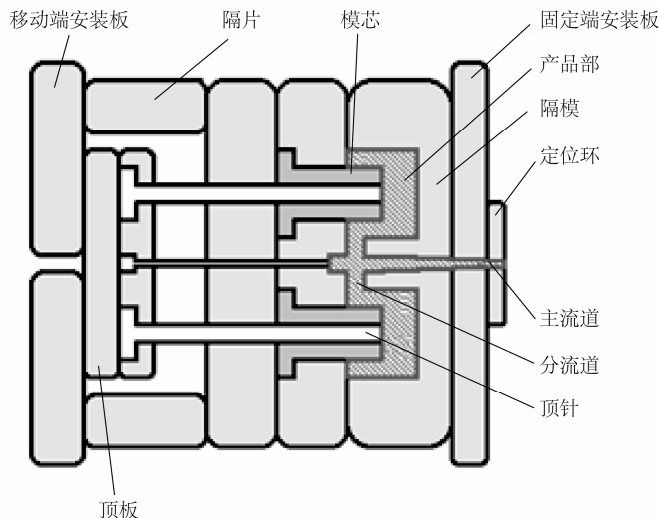


图 4-18 模具示意图

## 4.2.4 成型塑料制品

成型塑料制品是由使熔融材料流入的主流道，引导熔融材料进入模腔的分流道及制品所构成的。如果一次成型只可得到一个产品，生产效率不高，因此，通过利用分流道将多个模腔连接在一起，使得一次可以同时成型出多个产品。但此时若分流道到各模腔的长度不相等，树脂就不能在同一时间内射入模腔，导致各制品的尺寸、外观、物性发生差异，因此通常分流道的长度相同，如图 4-19 所示。

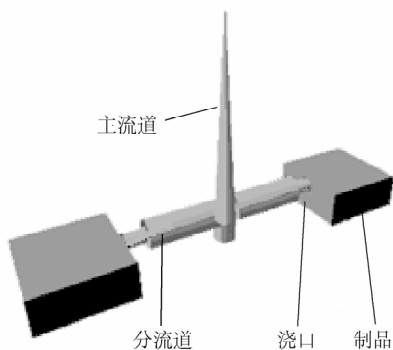


图 4-19 注塑成型制品

## 4.2.5 回料

成型品中的主流道和分流道并不是产品，而是被废弃的材料，如图 4-20 所示。通常会被粉碎后作为成型材料再度使用，这种重复再利用的材料称为回料。

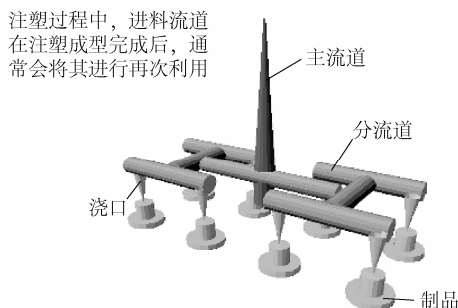


图 4-20 注塑回料

回料一般不作为成型材料单独使用, 而是与新料混配后使用。这是因为经过一次成型后, 树脂的力学性能、流动性、颜色等各种特性都会发生变化。新料与回料的混合比例一般控制在 30% 以下, 如果回料的使用比例过高, 有可能使材料的固有特性下降, 即使回料的使用量控制在 30% 以下, 也必须根据所求制品的品质要求、强度、成型模具构造、成型品的形状等, 来决定回料的正确使用量。

### 4.2.6 常用注塑料注塑工艺

#### 1. 聚乙烯 (PE, 分为 HDPE、MDPE)

##### (1) 工艺特性

- 1) 属非牛顿型流体, 有假弹性材料的特性。
- 2) 结晶型聚合物, 有明显的熔点, 随温度升高结晶度下降。
- 3) 纯 PE 氧化性能较差, 一般需添加适量的抗氧化剂。
- 4) 注塑时, 熔融状态下的树脂要承受很高的剪切应力; 一般高密度 PE 低压强, 低密度 PE 高压强。
- 5) PE 的注塑压力的变化对熔体流动性的影响要比料桶温度明显, 但高剪切速率下易使 PE 熔体易出现破裂现象。

6) PE 吸水性低 (小于 0.1%), 生产可以不进行干燥。

7) PE 的制品易翘曲变形, 收缩率大且方向性明显。

##### (2) 制品与模具

1) 低密度 PE 的流动比为 280 : 1, 高密度 PE 的流动比为 230 : 1; PE 制品厚度应不小于 0.8mm, 一般选取 1~3.5mm。

2) 脱模斜度: 型芯部分沿脱模方向 25'~45', 模腔 20'~45'。

3) 模具排气槽深度应在 0.03mm 以下。

##### (3) PE 树脂特性

流动性的熔体指数 (MI), 指数越小树脂相对分子质量越大, 流动性越差, 加工性能越差, 见表 4-1、表 4-2。





表 4-1 熔体指数与密度范围

PE 树脂	密 度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	熔体指数
低密度 PE	0.912~0.925	1~31
中密度 PE	0.926~0.941	0.5~20
高密度 PE	0.942~0.965	0.2~8

表 4-2 PE 的熔体指数与性能的关系

性 能	熔体指数的变化
	下降 ————— 上升
熔体黏度	←—————
制品表面光泽	—————→
制品透明度	—————→
成品收缩率	—————→
拉伸强度	←—————
相对伸长率	—————→
冲击强度	←—————
耐应力开裂性	←—————

#### (4) 成型工艺

1) 注塑温度: 低密度 PE 注塑温度为在  $160\sim 220^{\circ}\text{C}$ , 高密度 PE 注塑温度为  $108\sim 240^{\circ}\text{C}$ ; 料筒温度的选择点远较熔点高(通常要高出数十度)。

2) 注塑压力与速度: 产品薄壁、流程长、浇口窄要求注塑压力较大, 一般为  $100\text{MPa}$ ; PE 在高速运动中存在着熔体破裂的倾向, 所以, 一般不宜选用高速注塑, 而应选中速或慢速注塑。

3) 模具温度: 低密度 PE 的模具温度为  $35\sim 55^{\circ}\text{C}$ , 高密度 PE 的模具温度为  $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

#### (5) 成型周期

为防止熔体收缩时所产生的缺料, 以及在制品中易出现气泡、凹痕等, 所以, 保压时间的长短应根据流道的长短、浇口的大小和制品的壁厚而定。

#### 2. 聚丙烯 (PP)

结晶性高聚物, 成型收缩性大, 耐老化性和抗低温性差。

##### (1) 工艺特性

1) 结晶度达  $50\%\sim 70\%$ ; 有明显熔点, 熔点温度  $164\sim 170^{\circ}\text{C}$ 。

2) 热稳定性较好分解温度可达  $300^{\circ}\text{C}$  以上, 树脂与氧接触  $260^{\circ}\text{C}$  左右开始变黄。

3) 流动性很好。

4) 熔体弹性较大且冷却凝固速度快, 易产生内应力。

5) 成型适应性强, 但要注意通常要求制品的重量不超过设备容量的  $50\%\sim 60\%$ 。

6) PP 可以加着色剂生产, 需注意加入比例, 如比例不好对制品的收缩率有很大影响。

7) PP 的折叠性很好。

(2) 制品与模具设计

1) 制品的厚度应充分注意到熔体的充模的可能性, PP 的最大流长比 250:1。

2) 制品的脱模斜度在  $30' \sim 1^\circ$  范围选择, 如有成型孔、字符、花纹时, 斜度为  $1.5^\circ \sim 2^\circ$ 。

3) 对带有铰链的制品浇口位置应选择要求熔体的流动方向垂直于铰链的轴芯线。

4) 制品的模具需要开排气槽, 深度一般为 0.03mm。

5) 模具温度对制品性能有很大影响, 模具温度低、结晶度低, 制品呈柔软性倾向, 收缩率低, 生产效率高, 但存在大面积和厚壁制品易产生翘曲, 表面粗糙度较大等缺点。

(3) 原料准备

1) PP 为白色蜡状颗粒, 比 PE 轻且透明。

2) 注塑成型中熔体指数常选中高值 ( $MI=1 \sim 10$ ) 对制品成型质量较好, PP 在制品时允许含水量为 0.05%。

(4) 成型工艺

1) 注塑温度:

① PP 的结晶熔点温度为  $164 \sim 170^\circ\text{C}$ 。

② PP 分解温度为  $300^\circ\text{C}$  以上。

③ 熔体黏度随温度上升而有所下降, 所以, PP 的料筒温度通常为  $200 \sim 270^\circ\text{C}$ 。

④ 提高 PP 的注塑温度特别是对壁厚为  $1 \sim 2\text{mm}$  的制品, 有助于降低表面粗糙度, 提高尺寸的稳定性, 并对抗冲击强度、相对伸长率等有改善。

⑤ PP 选择的 MI 越高, 所选择的温度就要越低, 反之就越高。

2) 注塑压力: 在成型中对 PP 一般选用较高的注塑压力, 以避免物料在充模时的冷却效应给流动性所带来的不利影响, 其对制品的冲击韧性、拉伸强度无不利影响, 而且有利于相对伸长率, 特别是对成型收缩率有较大的改善。

3) 成型周期: PP 能在较高温度下脱模而制品很少发生形变, 而常用的 PP 成型一般在低模温下进行, 因此成型周期加长。

4) 模具温度: 一般 PP 制品的模具温度大多是采用同冷却的办法进行控制, 模芯的温度略低于模腔温度约  $5^\circ\text{C}$ 。

3. 聚苯乙烯 (PS)

(1) 聚苯乙烯的工艺特性

1) PS 是无定性聚合物, 无明显熔点, 热稳定性较好, 约在  $95^\circ\text{C}$  左右开始软化,  $120 \sim 180^\circ\text{C}$  为流体,  $300^\circ\text{C}$  以上出现分解。

2) PS 比热容量低, 加热流动和冷却固化速度快, 熔体黏度适中, 且流动性好易成型。



3) PS 在成型过程中熔体的流动性提高温度比提高压力明显。

4) 制品中内应力大、易碎裂是 PS 加工中最大的难点。

## (2) 注塑成型设备

PS 适应性较强, 可适用大多设备。

## (3) 制品与模具设计

1) 由于 PS 的热膨胀系数与金属相差较大, 因此, PS 制品中不宜有金属嵌件的存在。

2) PS 熔体最大流动长度与壁厚之比为 200:1, 制品的壁厚一般为 1.0~4.0mm 为宜。

3) PS 制品性脆易碎, 要求制品的壁厚尽可能均匀, 同时不允许有缺口、尖角。

4) PS 的成型收缩率为 0.5%~0.8%。

5) PS 制品顶出一般要求有较大的顶出面积和同步性。

6) 排气孔、槽的深度应控制在 0.03mm 以下。

7) 模具温度尽可能一致, 各部分的温差应控制为 3~6℃ 以内。

## (4) 原料准备

1) 可加色母生产, 加工之前要对 MI 进行了解, 一般 MI 值越大流动性越好, 反之则越差。

2) PS 吸水性较低 (小于 0.05%, 成型允许含水量 0.1%), 生产一般不需干燥; 如潮湿可用 70~80℃ 的热风循环干燥, 时间 1.5~2h。

3) PS 有一定的静电吸尘作用, 需注意保持材料干净。

## (5) 成型工艺

1) 注塑温度: 热稳定性较好, 熔融温度范围宽, 分解温度大于 300℃, 成型料筒温度应为 180~215℃ 较为合适。

2) 注塑压力: 注塑压力的提高有利于冲击强度, 成型收缩率, 但对制品内应力不利, 可根据制品的复杂程度、浇口、产品壁厚等综合考虑。

3) 注塑速度: PS 高速注塑会使模腔内空气难以排出, 导致制品表面粗糙度增大, 透明度差, 冲击强度下降, 内应力增加, 所以, 一般采用较低的注塑速度。

4) 成型周期: PS 制品一般是在通冷水冷却过程中成型的, 所以, 成型周期一般比较短。

5) 模具温度: PS 模温不超过 70℃ (一般 50~60℃), 这主要是解决壁厚。使用要求较高的制品采用模具加热的, 但模芯、模腔各部分的温差不大于 3~6℃, 一般是低模温生产。

## (6) 成型中注意事项

1) 原料、设备、模具必须清洁。

2) 再生料使用与新料配比一般为 15%~50%, 多次使用要注意变色降解现象。

3) 制品的后处理, 当壁厚不大于 6mm 时, 取温度为 60~70℃, 处理 30~60min; 当壁厚大于 6mm 时, 则取 70~78℃, 处理 120~300min。

## 4. 丙烯腈（A）—丁二烯（B）—苯乙烯（S）共聚物（ABS）

### （1）工艺特性

1）ABS 属无定形物，无明显熔点，通常在 160℃以上即可成型，热稳定性较好；通常在 270℃以上开始出现分解，黏度适中，熔体的冷却固化速度比较快。

2）ABS 熔体流动性与注塑温度和注塑压力有关，但注塑压力稍敏感。

3）ABS 的组分不同吸水性有差异，其范围为 2.0%~0.5%，在成型之前必须进行干燥。

### （2）注塑设备

1）每次注塑量应取设备最大注塑量的 50%~75%。

2）螺杆应选单头、等距、渐变、全螺纹、带止回环的螺杆，螺杆的长径比  $L/D$  为 20:1，压缩比为 2~2.5:1。

3）对于阻燃 ABS 要求对设备做好停机后的防腐蚀工作（如螺杆、料筒、喷嘴等），并要求控温系统工作灵敏。

### （3）制品与模具设计

1）制品的厚度：ABS 熔体最大流动长度与鼻喉之比约为 190:1；ABS 的制品壁厚通常为 1.5~4.5mm。

2）脱模斜度：与制品的收缩率有关，大致收缩范围为 0.3%~0.6%；ABS 制品的模具模芯脱模度为 35'~1°，模腔部分为 40'~1° 20'。

3）顶出要求：顶出有效面积大，且同步性要好，顶出力均匀。

4）排气：排气槽（孔）深度不大于 0.04mm。

5）流道与浇口：流道直径不小于 5mm 浇口的厚度为制品厚度的 30%以上，平均部分的长度约为 1mm 左右。

### （4）原料准备

ABS 的吸水性在加工允许值 0.2%左右，干燥工艺见表 4-3。

表 4-3 ABS 干燥工艺

项 目	单 位	控制范围
干燥温度	℃	80~85
干燥时间	h	2~4
料层厚度	mm	30~40
干燥要求	%	0.1

### （5）成型工艺

#### 1）注塑温度：

① ABS 温度上升对薄壁制品的充模有利。

② 一般 ABS 树脂温度达 270℃以上可分解但温度一般不超过 250℃，以防止变色和影响制品性能。



③ ABS 树脂成型温度除耐热级、电镀级等稍高，对阻燃级、通用级、抗冲级温度可稍低些。成型温度一般为 160~220℃。

2) 注塑压力：一般注塑压力视制品及浇口复杂程度及所选择原料而定。

3) 注塑速度：除充模困难的情况下需较高的注塑速度，其他用中、低为宜。

4) 模具温度：ABS 树脂模具温度对制品外观和性能影响较大，一般控制在 60~80℃，但模腔及模芯温度均匀且之间的温差应不超过 10℃，一般模腔稍高些。

## (6) 注意事项

1) 开机与停机：ABS 树脂开机和停机时，除了阻燃级 ABS 有严格要求以外，其他 ABS 树脂无特殊要求，停机 20min 以上注意降低料筒螺杆温度。

2) 再生料使用：混合的比例一般不超过新料的 25% (5 次以上一般不使用)。

3) 后处理：

① ABS 树脂内应力的大小可通过溶剂浸渍法进行检查了解，以及根据浸入冰醋酸溶液中是否发生开裂及开裂的时间长短进行判断。

② 消除或减少 ABS 制品内应力的方法一般是将制品放入温度为 70~80℃ 的热风循环干燥箱内，处理 2~4h，缓慢冷却至室温。

## 5. 聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA, 有机玻璃)

常用 372PMMA 是由甲基丙烯酸甲酯与苯乙烯单体 (约 85:15) 进行共聚得到的，在 372PMMA 中加少量丁腈橡胶 (约 5%) 即可成为 373PMMA。

## (1) 工艺特性

1) PMMA 为无定形聚合物，玻璃化温度 ( $T_g$ ) 为 105℃，熔融温度大于 160℃，分解温度在 270℃ 以上。

2) 熔融状态下 PMMA 熔体黏度较高、流动性差、对温度变化比较敏感。

3) PMMA 有一定亲水性，其颗粒的吸水性达 0.3%~0.4%，在成型前必须要干燥。

4) PMMA 表现为质硬、性脆、易破裂，一般制品用量不超过注射机最大注塑量的 70%~80%。

## (2) 制品与模具设计

1) PMMA 熔体流动长度与壁厚比为 130:1，制品壁厚一般在 1.5~5mm，选取时最好不低于 1mm。

2) PMMA 收缩率较小为 0.5%~0.7%；模具的排气孔槽为 0.03mm 以下。

3) PMMA 制品成型模具温度一般通过冷却水进行控制，如壁厚太厚或形状复杂则需加温控制，一般温度范围为 40~80℃。

## (3) 原料准备

PMMA 干燥工艺见表 4-4。

表 4-4 PMMA 的干燥工艺

控制项目	单 位	控制范围
干燥温度	℃	70~80
干燥时间	h	2~4
料层厚度	mm	30~40

## (4) 成型工艺

1) 注塑温度：成型温度可为 160~270℃，见表 4-5。

表 4-5 注塑温度与熔体流动长的关系

注塑温度 (℃)	熔体流动长度 (mm)
200	10.2
220	20.3
240	30.5

2) 注塑压力：压力对 PMMA 树脂的制品厚壁、凹痕、减少收缩、气泡有明显影响。

3) 注塑速度：高速注塑会给制品增加内应力，浇口周围常模糊不清，一般采用中低速，最好采用多级注塑速度进行控制。

4) 模具温度：在实际成型中，除了因充模困难，改善熔接痕，防止收缩孔等需要适当加模温（一般为 40~65℃）外，大多是采用通水冷却的办法来加以控制。

## (5) 注意事项

成型设备：当料筒内存有聚硫乙烯，聚甲醛等物料时应注意先用聚苯乙烯等物料清洗料筒，再用再生料清洗；而不可用 PMMA 再生料直接清洗，这一点必须注意。

再生料与新料混合比例为 1：4，制品也可用热处理消除内应力，温度为 70~80℃、一般 4h 左右即可。

## 6. 聚酰胺（PA，尼龙）

PA 是一类主链上有许多重复酰胺基团的高分子化合物。

### (1) 工艺特性

1) 吸水性，见表 4-6。

表 4-6 部分 PA 的吸水情况

树脂品种	PA6	PA9	PA11	PA12	PA13
吸水性 (%)	1.2~3.0	0.15~0.25	0.5~1.0	0.6~1.5	0.5~0.8
树脂品种	PA66	PA610	PA612	PA1010	PA1313
吸水性 (%)	0.9~2.0	0.4~0.5	0.5~1.3	0.2~0.4	0.2~0.3

2) 结晶性：除透明尼龙外，其余大都是结晶性高聚物。



3) 流动性, 见表 4-7 所示。

表 4-7 部分 PA 的熔点温度

树脂品种	6	7	8	9	11	12	13
熔点 (°C)	215~221	220~223	152	210~215	185~187	178~180	180
树脂品种	66	610	612	613	1010	1313	
熔点 (°C)	260~265	220~225	205	210	200~205	170~174	

4) 热稳定性: PA 热稳定性比 PP, PE 等差得多。

5) 收缩率: PA 收缩率较大, 见表 4-8 所示。

表 4-8 部分 PA 品种的成型收缩率

树脂品种	PA6	增强 PA6	PA9	PA11	PA12
收缩率 (%)	0.8~2.4	0.3~0.7	1.5~2.5	1.2~2	1~1.6
树脂品种	尼龙 66	增强尼龙 66	尼龙 6/9	尼龙 610	增强尼龙 610
收缩率 (%)	1.5~2	0.2~0.8	1~1.5	1.2~1.8	0.4~0.7
树脂品种	PA612	PA6/66	PA1010	增强 PA1010	透明 PA
收缩率 (%)	1.0~1.1	0.6~1.5	1~2.3	0.3~0.5	0.5

## (2) 成型设备

设备生产螺杆头子应配有止回环; 头子一般应是自锁式喷嘴。

## (3) 制品与模具设计

1) 制品厚度: 制品一般不低于 0.8mm, 1~3.2mm 是尼龙类制品常用的范围。

2) 流道与浇口: 除 PA66 等少数品种外大部分可用热流道模具, 应有足够的冷料穴, 主流道的斜度为  $4^{\circ}\sim 6^{\circ}$ , 分流道的直径等于或大于制品的厚度, 梯形流道的截面高度为上底的  $2/3$ , 下底宽为上底的  $3/4$ , 浇口直径一般为制品壁厚的  $2/3\sim 3/4$ , 但最小不得小于 0.8mm。

3) 排气: PA 树脂的溢边值为 0.03mm 左右, 所以, 排气孔、槽应控制在 0.025mm 以下。

4) 模具温度: 一般制品壁厚大于 5mm 应采取加热控温方式, 对于具有一定柔软性, 壁厚小于 5mm 的制品一般用冷却水控温, 具体温度见表 4-9。

表 4-9 120°C 以下几种 PA 的最高模温

树脂品种	模具温度 (°C)	树脂品种	模具温度 (°C)
PA6	110	PA610	100
PA11	60	PA612	80
PA12	100	PA1010	110
PA66	120		

## (4) 原料准备:

原料准备时的要求见表 4-10。

表 4-10 PA 干燥工艺参考表

干燥方法	温度 (°C)	时间 (h)	料层厚度 (mm)	备 注
真空干燥	95~105	12~16	<50	真空度>95kPa
热风循环干燥	90~100	15~20	<25	
负压沸腾干燥	100~110	15~30min	一次加料量	40~80kg

## (5) 成型工艺

- 1) 料筒温度：根据原料选择料温。
- 2) 注塑压力：可根据制品情况而选择压力，一般为 60~120MPa。
- 3) 注塑速度：对尼龙而言注塑速度以略快为宜，可防止因冷却速率过快而造成的波纹、冲模不足等问题。

## (6) 模具温度

制品壁厚与模具温度的关系见表 4-11。

表 4-11 制品壁厚与模具温度的关系

制品壁厚 (mm)	模具温度 (°C)	制品壁厚 (mm)	模具温度 (°C)
<2	20~40	6~10	60~90
3~6	30~60	>10	>100

## (7) 成型中的注意事项

- 1) 再生料的使用：再生料数不宜过多，最好不要超过 3 次；使用量应控制在新料的 25% 以下；混合后必按工艺要求进行干燥，方可使用。
- 2) 脱模剂的使用：使用少量的脱模剂可对气泡等缺陷有改善或消除作用。
- 3) 安全须知：PA 树脂开机须首先开启喷嘴温度，然后再开启料筒的电源。
- 4) 制品的后处理：制品后处理分为热处理和调湿处理。

热处理：制品可在无氧的情况下用红外线、热风循环处理；但常用的办法是放入（矿物油、甘油、液体石蜡等）液体在一定温度中进行的；热处理的温度应高于制品的使用温度 10~20℃处理的时间，视制品的厚度而定，厚度在 3mm 以下为 10~15min，厚度为 3~6mm 时间为 15~30min，经热处理的制品需缓慢冷却至室温。

调湿处理：调湿处理主要是针对使用环境湿度较大的制品而进行的，其办法有两种：一是沸水调湿法；二是醋酸钾水溶液调湿法（醋酸钾与水的比例为 1.25：1，沸点 121℃）前者操作方便，只要将制品放置在相对湿度 65% 的环境下以使其达到所要求的平衡湿度量即可，但由于此方法耗时较长，故一般采用后者；调湿处理的温度为 80~100℃，处理的时间主要取决于制品的厚度，当壁厚为 1.5mm 时约 2h，3mm 为 6~8h，6mm 的为 16~18h。

## 7. 聚甲醛 (POM)

POM 是一种没有侧链，高密度、高结晶的线型聚合物；有良好的力学性能，优异的抗蠕变性能和应力松弛能力；其耐疲劳性在热塑性塑料中是最高的；其弹性





模量优于 PA66、ABS、聚碳酸酯，使用温度宽广（ $-40\sim 100^{\circ}\text{C}$ ）；同时有优异的耐磨性和自润滑性，抗腐蚀性好、吸水性低、尺寸稳定性好、电绝缘性优良。

POM 按分之化学结构分为均聚甲醛、共聚甲醛，其性能见表 4-12。

### （1）工艺特性

1）熔点明显，当温度未达到熔点以上，长期受热树脂也不会熔融。

2）结晶度高体积收缩大。

表 4-12 均 PA 与共 PA 的性能情况

项 目	单 位	共聚甲醛	均聚甲醛
密度		1.41	1.425
结晶度	%	70~75	75~80
熔点	$^{\circ}\text{C}$	165	175
热变形温度	$^{\circ}\text{C}$ （负荷 18.6k $\text{g}/\text{cm}^2$ ）	110	100
熔体流动温度	$^{\circ}\text{C}$	174	184
成型温度范围	$^{\circ}\text{C}$	50	10~15

3）凝固速度快，POM 凝固温度为  $160^{\circ}\text{C}$ ，凝固比熔融速度快。

4）热稳定性差，POM 在  $240^{\circ}\text{C}$  的温度下会严重分解；在  $210^{\circ}\text{C}$  的温度下，停留时间不能超过 20min，在正常范围内停留时间稍长也会出现分解。

5）流变性：增加流变性不应从增加温度着手，而应从增大注塑速率，改进模具结构，控制模具温度考虑。

6）吸水性低。

7）加工流动性：POM 流动指数增大流动性增强；熔体的流动长度随温度的升高而增长，其增长幅度也随温度增加（对薄壁的产品有明显改变但要在不发生温度分解的前提下）；增加注塑压力是改善 POM 熔体流动性的重要手段；模具温度的提高，特别是在  $80^{\circ}\text{C}$  以上，有利于 POM 熔体流动性的改善；当调整工艺条件无法改善熔体流动性时，可考虑适当修改制品设计，增加制品的厚度或放大浇口尺寸，以达到顺利成型的目的。

### （2）成型设备

1）每一次注塑量不超过注射机最大公称注塑量的 70%~75%，最好在 60% 左右。

2）物料流经的部位，不允许有任何造成物料滞留的问题存在，特别是料筒与喷嘴接合部、止回装置等。

3）喷嘴要求对物料的阻力要小，一般选用敞开式通用喷嘴，并附有加热控温装置。

### （3）制品与模具设计

1）POM 制品的壁厚不宜太薄，一般为 1.5~2mm。

2）POM 制品的模具必须开排气槽，孔深度不得超过 0.02mm，宽度在 3mm 左右。

(4) 原料的准备与处理:

POM 如含有水分, 其热风干燥工艺要很严格控制, 以防止物料变色。POM 的干燥工艺见表 4-13。

表 4-13 POM 的干燥工艺

控制项目	控制范围
干燥温度 (°C)	80±5
料层厚度 (mm)	<30
干燥时间 (h)	3~5

(5) 成型工艺:

1) 注塑温度: 注塑过程中射熔体的实际温度通常要比料筒控温仪表所显示的温度高出 10~30°C, 这是因剪切作用热、熔体摩擦等造成的, 同时温差的高低与设备控温点位置及深度也有关。

随温度的提高, POM 力学性能有不同程度的改变, 如落球冲击强度提高 (以落球高度来表征); 拉伸强度的变化随模具温度的不同而不同; 当模具温度升高时, 相对伸长率随温度的提高而迅速下降; 一般 POM 的成型温度控制在 190~210°C 最为理想。

2) 注塑压力: 注塑压力选择需根据制品的形状、壁厚、模具的流道、浇口的尺寸及模具的温度进行综合考虑。

3) 保压时间: 可凭经验进行选择。

4) 注塑速度: 一般用中、高速进行注塑的。

5) 模具温度: POM 的结晶度高, 结晶速度快, 模温的变化, 而对结晶度的影响并不突出; POM 的模具温度应控制在 80~100°C 为宜, 对于大面积或阻力较大的薄壁或复杂制品温度可提高到 120°C 左右。

(6) 注意事项:

POM 再生料可使用十余次, 性能几乎不变化; 与新料的混合比例为 20%~30%。

1) POM 的成型温度不允许超过 240°C, 此温度下几分钟即可分解。

2) 物料不允许在 190°C 以上的料筒内停留时间过长, 否则也会引起物料分解。

3) 再保证制品的质量和流动性的情况下, 尽可能使用较低的成型温度和较短的成型周期。

4) 设备升温时, 应首先开启喷嘴的加热电源, 使喷嘴预热, 然后再开启料筒的温度电源。

5) 在加工 POM 之前, 如料筒内存有加工温度超过 POM 加工温度的物料; 必须先用 PE 再生料清洗料筒, 使温度降至 POM 的成型温度方可加工。

6) 加工前如有物料分解, 刺鼻味道必先射空料筒内物料, 降温方可。

7) 有的物料或添加剂 (如 PVC、AAS 等) 对 POM 有分解作用, 必须清理干净。

8) 制品的后处理: 一般用空气或油作为介质进行, 见表 4-14。

表 4-14 POM 的处理工艺

方 法	温 度	时 间
空气浴退火	140～150℃	壁增加 5mm 即增加 40～60min
油浴退火	140～150℃	壁增加 5mm 即增加 20～30min

### 4.3 双色注塑成型

如图 4-21 所示，双色注塑是指两种塑料材料在同一台注射机上注塑，分两次成型，但是产品只出模一次的模具。这种模塑工艺也叫双料注塑，通常由一套模具完成，且需要专门的双色注射机。双色成型机台分卧式与立式两种，装载两套或以上模具由机台旋转 180° 或 120° 两次注塑成型。双色成型机与传统单色注射机类似，区别于它有两个成型射嘴以及成型动作机构不同。双色注射机如图 4-22、图 4-23 所示。

双色注塑的材料特性，通常是指双色或者双料，即两种塑材或两种颜色，塑材通常分为硬胶与硬胶包合或软胶与硬胶包合。其中硬胶常用 ABS、PC、PP、PVC 等，软胶常用 TPU、TPE、TPR 等，其成型后的产品外观质感强，且防碰防摔。



4-21 圆珠笔的双色注塑



图 4-22 立式双色成型机



图 4-23 卧式双色成型机

其中有一个比较容易混淆的概念就是包胶模具（二次成型），是指两种塑料材料不一定在同一台注射机上注塑，而是分两次成型；产品从一套模具中出模取出后，再放入另外一套模具中进行第二次注塑成型。所以，一般这种模塑工艺通常由两套模具完成，而不需要专门的双色注射机，且需要人工进行产品定位再注塑。而包胶模具适用于品质要求相对较低的塑料制品中，二次成型工艺难以保证，产品精度较双色注塑低。

从世界范围内产品设计角度观察，对于双色注塑的需求越来越大，产品涉及汽车灯罩、塑料盘、备有密封唇的型材、手柄、家电外壳、数码产品、通信产品等。双色注塑的优点在于与传统工艺相比，前者的生产成本相对较便宜，由于这种工艺可以使产品的外观更加漂亮，且通过注塑替代喷涂，但技术要求高。因此，双色注塑技术在中国现阶段似乎尚未形成规模市场效应。如图 4-24 所示，双色注塑眼镜框运用双色注塑工艺，替代板材太阳镜镜框。原工艺都为大家所熟悉的喷漆，夏天出汗，有可能导致油漆脱落和粘在皮肤上，此种注塑工艺摆脱了这种缺点，既环保又实用。原喷漆工艺，用刀片刮过后，油漆脱落，且颜色容易变样。采用双色注塑工艺，用刀片刮过后，仍保留原色。如图 4-25 所示，双色注塑手机，改善了产品的设计附加价值。



图 4-24 双色注塑的眼镜框



图 4-25 双色注塑的手机

在汽车内饰设计中，彩色仪表板渐呈流行趋势。但此前不久，这些大型塑料制件还只能是单色。为了得到两种不同颜色的外观，喷漆是唯一的选择。在福特、伟世通、赫斯基公司的通力协作下，使双色仪表板的成型技术揭开了汽车内饰设计全新的一页。这一创新的仪表板新工艺，即使用到同步注塑成型技术。这种工艺可以将两种不同颜色的物料从同一注射机的两个独立的注塑单元同时注入模腔，省略了后期的喷漆工序。

企业的产品要在市场中生存，并形成竞争力，就必须与其他的 product 在设计、制造工艺、营销上有所不同。因此，设计师在设计初期就可以考虑采用双色注塑工艺，利用多种物料或颜色来引领潮流并形成独特的产品形象。从多色注塑成型、双料注塑成型的特性与应用可以看出，其未来有逐步取代传统注塑成型制程的趋势。革新性注塑成型技术不但提高了注塑成型制程的精密密度，提供高难度制程技术，而且开拓了注塑成型制程领域的范围。

4.3.1 双色注塑成型的基本原理

双色注塑成型主要以双色注塑成型机的两只料管配合两套模具，按先后次序经两次成型制成双色产品。注塑成型周期示意图如图 4-26 所示，双色注塑成型原理如图 4-27 所示，双色注塑成型示意图如图 4-28 所示。

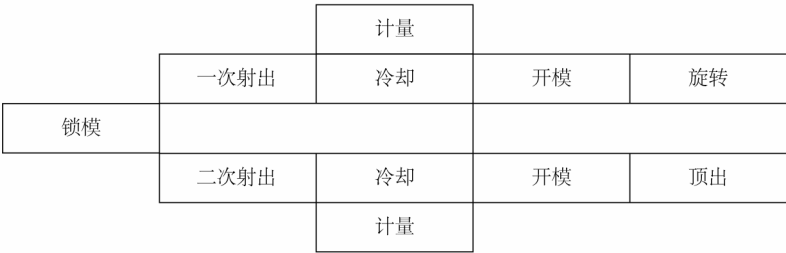


图 4-26 注塑成型周期示意图

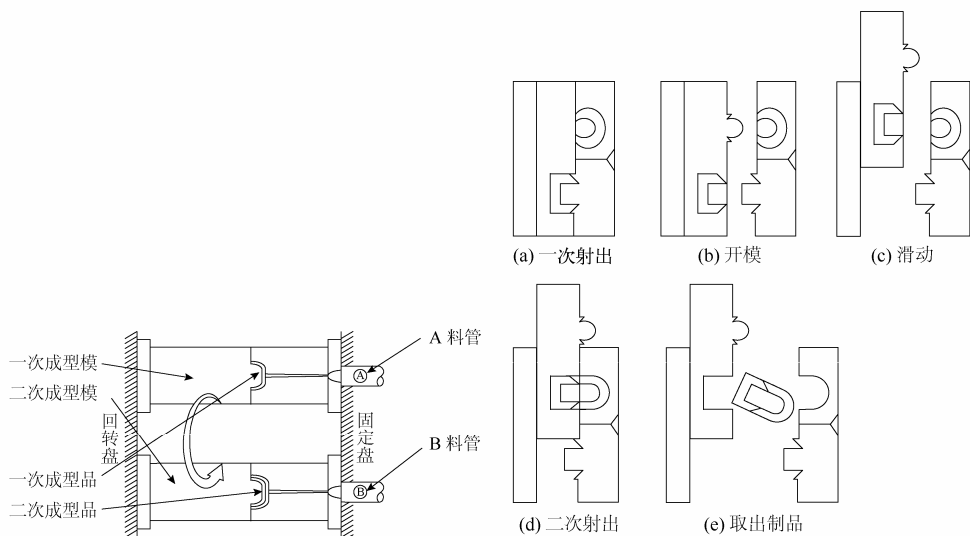


图 4-27 双色注塑成型原理图

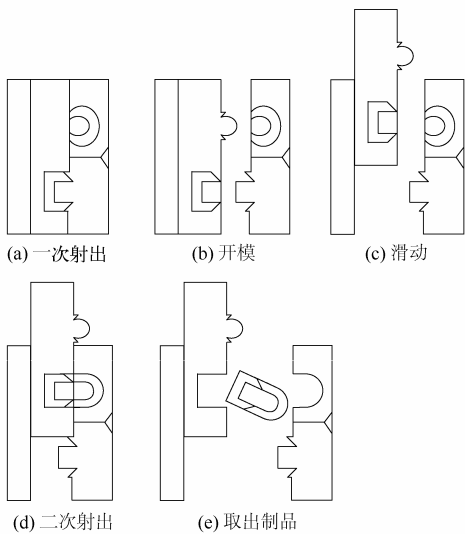


图 4-28 双色注塑成型示意图

## 4.3.2 工作步骤

如图 4-27 所示，双色注塑成型步骤如下：

- (1) A 原料经 A 料管射入 1 次成型模制成单射产品 A。
- (2) 经周期开模，产品 A 留于公模，注塑成型机动模板旋转至 B 合模。
- (3) B 原料经 B 料管射入 2 次成型模制成双色成品，开模、顶出。

比起传统射出成型，双色注塑成型制程有如下的特点：①产品精度高，品质稳定；②结构强度好，耐久性佳；③配合间隙小，外观良好；④材料互补，增强产品性能；⑤实现降低成本，提升产品附加价值。

## 4.3.3 双色注塑的双料共射注塑方式

双料共射注塑成型（Co-Injection Molding），又称三明治射出成型制程（Sandwich Injection Molding）是新近革新性射出成型加工技术之一。其操作原理是在传统射出机中加入一根料管和改良式喷嘴，在熔料射出过程可以同时或间隔式顺序将熔料射入成型模穴中。图 4-29 所示为双料共射注射机材料注塑管道方式，A、B 中不同材料同时进行注塑或者时间先后间隔性地进行注塑。共射成型熔料流动剖面示意图如图 4-30 所示。

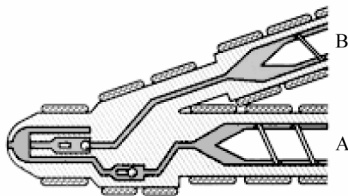


图 4-29 双料共射成型示意图

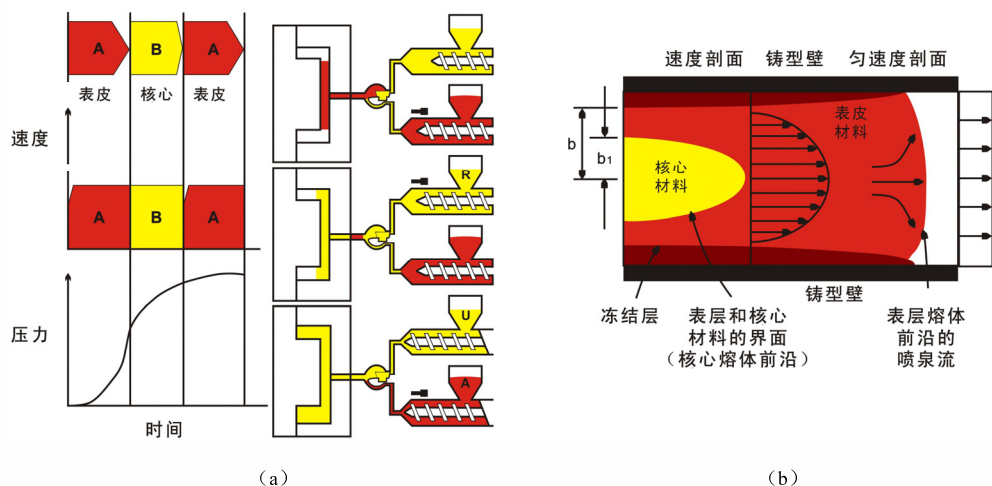


图 4-30 共射成型熔料流动剖面示意图

与起传统射出成型相比，双料共射射出成型制程有如下的优点：

- (1) 核心料可以使用低黏度的材料来降低射出压力。
- (2) 从环保的考虑，核心料可以使用回收的二次料。
- (3) 根据不同的使用特性，如厚件成品皮层料使用软质料，核心料使用硬质料或者核心料可以使用发泡塑料来降低重量。
- (4) 可以利用较低质量的核心料以降低成本。
- (5) 皮层料或核心料可使用价格昂贵且具特殊表面性质，如防电磁波干扰、高电导性等材料以增加产品性能。
- (6) 适当的皮层料和核心料配合可以减少成型品残余应力、增加机械强度或产品表面性质。
- (7) 产生如大理石纹路的产品。图 4-31 为双料共射注塑产品。



图 4-31 双料共射注塑产品

## 4.4 透明注塑成型

透明注塑成型，是指采用透明的塑料材料，通过注射机与模具，进行产品的成型，从而得到透明效果的塑料产品，如图 4-32 所示。由于塑料具有重量轻、韧性好、成型易、成本低等优点，因此，在现代制造和日用产品中，越来越多地使用塑料代替玻璃，特别是数码产品、光学仪器 and 包装工业方面，发展尤为迅速。

由于其透明性好，耐磨性能高，抗冲击韧性好，

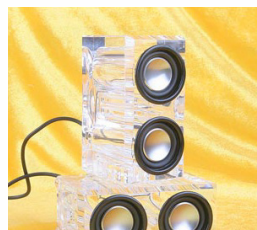


图 4-32 透明音响

因此，对塑料成分，整个注塑过程的工艺、设备、模具等，都有着特定的要求，以保证这些用于代替玻璃的塑料（以下简称透明塑料），能得到理想的外观效果，从而满足与现代设计的要求。

4.4.1 常用材料

目前，市场上一般使用的透明塑料有聚甲基丙烯酸甲酯，即俗称亚克力或有机玻璃（PMMA），如图 4-33 所示，以及聚碳酸酯（PC）、聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）、透明尼龙、丙烯腈—苯乙烯共聚物（AS）、聚砜（PSF）等。其中，最常用的是 PMMA、PC 和 PET 3 种塑料，下面就以最常用的这 3 种塑料为例，阐述透明塑料的特性和注塑工艺。



图 4-33 塑料粒子

4.4.2 透明塑料的性能

透明塑料首先必须具备高透明度，其次要有一定的强度和耐磨性，能够抗冲击，耐热性、耐化学性优良，吸水率要小，只有这样才能在使用中满足透明度的要求而稳定不变，对 PMMA、PC 和 PET 的性能进行比较见表 4-15。

表 4-15 透明塑料性能比较

性能 材料	密度 (g/cm <sup>2</sup> )	抗拉强度 (MPa)	缺口冲击 (J/m <sup>2</sup> )	透明度 (%)	变形温度 (℃)	允许 含水量	收缩率	耐磨性	抗化 学性
PMMA	1.18	75	1200	92	95	0.04	0.5	差	良
PC	1.20	66	1900	90	137	0.02	0.6	中	良
PET	1.37	165	1030	86	120	0.03	2	良	优

注：1. 因品种繁多，这只是取平均值，实际不同品种数据有异。2. PET 数据（机械方面）为经拉伸后的数据。



图 4-34 透明饮料瓶

从表 4-15 数据比较可知 PC 是作为透明注塑材料最理想的选择，但由于其原料价格比较贵以及注塑工艺较难，因此在实际生产应用中仍以选用 PMMA 为主。而 PET 由于要经过拉伸才能得到好的力学性能，所以，多在包装、容器中使用，如图 4-34 所示。

### 4.4.3 透明3塑料注塑过程中的问题

透明塑料制品由于对透光率要求很高，因此对塑料制品表面质量要求相对严格。尤其是在制品中不能有任何斑纹、气孔、泛白、雾晕、黑点、变色、光泽不佳等缺陷，这导致在整个注塑过程中对于原料、设备、模具、甚至产品的设计都要十分注意，并提出严格甚至特殊的要求。其次，由于透明塑料多为熔点高、流动性差的材料，因此为保证产品的表面质量，往往要在注塑温度、注塑压力、注塑速度等工艺参数做细微调整，使注塑料时既能充满模腔，又不会产生内应力而引起产品变形和开裂。因此在对设备和模具的要求，注塑工艺和产品的原料处理几方面都有着特殊的要求。

#### 1. 原料的准备与干燥

在塑料中含有任何一点杂质，都可能影响产品的透明度，因此在储存、运输、加料过程中，必须注意密封，保证原料干净。特别是原料中含有水分，加热后会引引起原料变质，所以必须进行干燥，且在注塑时，加料须使用干燥料斗。另外需要注意的是干燥过程中，输入的空气最好应经过滤、除湿，以便保证不会污染原料。其干燥工艺见表4-16。

表4-16 透明塑料的干燥工艺

工艺 材料	干燥温度(℃)	干燥时间(h)	料层厚度(mm)	备 注
PMMA	70~80	2~4	30~40	
PC	120~130	>6	<30	采用热风循环干燥
PET	140~180	3~4	—	采用连续干燥加料装置为佳

#### 2. 机筒、螺杆及附件的清洁

为防止原料被污染或在螺杆及附件凹陷处存有旧料或杂质，特别是防止热稳定性差的树脂存在，在注射机使用前、停机后都应用螺杆清洗剂清洗各部件，当没有螺杆清洗剂时，可用PE、PS等树脂清洗螺杆。当临时停机时，为防止原料在高温下停留时间过长而引起材料降解，应将干燥机和机筒温度降低，如PC、PMMA等材料的机筒温度需要降至160℃以下（料斗温度对于PC应降至100℃以下）。

#### 3. 产品与模具设计中的问题

为了防止出现回流动不畅，或冷却不均匀而造成塑料成型不良、产生表面缺陷和变质，在模具设计时，应注意以下几点。

（1）壁厚应尽量均匀一致，脱模斜度要足够大。

（2）过渡部分应逐步圆滑过渡，防止有尖角、锐边产生，特别是PC制品要避免缺口的存在。

（3）浇口流道尽可能宽大、粗短，且应根据收缩冷凝过程设置浇口位置，必要时应加冷料井。

（4）模具表面应光洁，表面粗糙度低（最好低于 $0.8\mu\text{m}$ ）。





(5) 排气孔槽必须足够, 以及时排出空气和熔体中的气体。

(6) 除 PET 外, 壁厚不要太薄, 一般不得小于 1mm。

#### 4. 注塑工艺中的问题

为了减少内应力和表面质量缺陷, 在注塑工艺方面应注意以下问题。

(1) 应选用专用螺杆、带单独温控射嘴的注射机。

(2) 注塑温度在塑料树脂不分解的前提下, 宜用较高注塑温度。

(3) 注塑压力一般较高, 以克服熔料黏度大的缺陷, 但压力太高会产生内应力造成脱模困难和变形。

(4) 注塑速度在满足充模的情况下, 一般宜采用低速, 最好能采用慢-快-慢多级注塑。

(5) 保压时间和成型周期在满足产品充模, 不产生凹陷、气泡的情况下应尽量短, 以减少熔料在机筒停留时间。

(6) 螺杆转速和背压在满足塑化质量的前提下, 应尽量低, 以防止产生降解的可能。

(7) 模具温度影响制品的冷却过程, 对质量影响极大, 所以, 模温一定要能精确控制, 尽可能使模温高一些。

#### 4.4.4 透明塑料的注塑成型工艺

如图 4-35 所示, 采用透明材料与透明注塑工艺注塑成型的数据接头、数据线等产品被广泛应用于网络通信、信息技术等领域。采用透明塑料所注塑的透明彩色产品使人类的生活多姿多彩, 如图 4-36 所示。



图 4-35 透明数码配件



图 4-36 透明扣

##### 1. PMMA 的工艺特性

PMMA 黏度大, 流动性稍差, 因此必须采用高料温、高注塑压力注塑, 其中注塑温度的影响大于注塑压力, 但注塑压力提高, 有利于改善产品的收缩率。注塑温度范围较宽, 熔融温度为 160℃, 而分解温度可达 270℃, 因此料温调节范围宽, 工艺性较好。如果需要改善流动性, 可从注塑温度着手。PMMA 冲击性差, 耐磨性不好, 易划伤, 易脆裂, 故应提高模温, 改善冷凝过程, 去克服这些缺陷。

## 2. PC 的工艺特性

PC 黏度大, 融料温度高, 流动性差, 因此必须以较高温度注塑 (270~320℃), 料温调节范围相对较窄, 工艺性不如 PMMA。注塑压力对流动性影响较小, 但因黏度大, 仍要较大注塑压力, 相应为了防止内应力产生, 保压时间要尽量短。收缩率大, 尺寸稳定, 但产品内应力大, 易开裂, 所以宜采用提高温度而不是加压来改善流动性, 并且从提高模具温度, 改善模具结构和后处理去减少开裂的可能。当注塑速度低时, 浇口处易生波纹等缺陷, 射嘴温度要单独控制, 模具温度较高, 流道、浇口阻力要小。

## 3. PET 的工艺特性

PET 成型温度高, 且料温调节范围窄 (260~300℃), 但熔化后, 流动性好, 故工艺性较差, 且往往在射嘴中要加防涎流装置。机械强度及性能注塑后不高, 必须通过拉伸工序和改性才能改善性能。模具温度准确控制, 是防止翘曲、变形的重要因素, 因此建议采用热流道模具。模具温度高, 否则会引起表面光泽差和脱模困难。透明塑料注塑成型工艺参数如表 4-17 所列。

表 4-17 透明塑料注塑成型工艺参数表

工艺 参数  塑料 名称	温度 (℃)					压力 (MPa)			转速 (r/min)
	射嘴	均化段	压缩段	加料段	模具	注塑	保压	背压	螺杆
PMMA	180~200	190~210	200~230	180~200	40~90	70~150	40~60	14.5~40	20~40
PC	250~270	260~285	270~300	240~270	85~100	80~150	40~70	6~14.7	20~60
PET	260~300	265~300	260~295	250~290	68~140	86~120	30~50	4.85	20~70

## 4.4.5 透明塑料件的缺陷和解决方法

(1) 银纹: 由于充模和冷凝过程中, 内应力方向不同相互影响, 垂直方向产生的应力, 使树脂发生流动方向上的改变, 而非流动取向产生折光率不同而生闪光丝纹, 当其扩展后, 可能使产品出现裂纹。除了在注塑工艺和模具上注意外, 还可对产品做退火处理, 如 PC 料可加热到 160℃以上保持 3~5min, 再自然冷却即可。

(2) 气泡: 由于树脂内的水汽和其他气体排不出去 (在模具冷凝过程中), 或因充模不足, 冷凝表面过快冷凝而形成“真空泡”。

(3) 表面光泽差: 模具粗糙度大, 另外冷凝过早, 使树脂不能复印模具表面的状态, 这些都使其表面产生凹凸不平, 从而使产品失去光泽。

(4) 震纹: 是指以直浇口为中心形成的密集波纹, 其原因是熔体黏度过大, 前端料已在型腔冷凝, 后来料又冲破此冷凝面, 而使表面出现震纹。

（5）泛白、雾晕：主要由于在空气中灰尘落入原料之中或原料含水量太大而引起的。

（6）白烟、黑点：主要由于塑料在机筒内，因局部过热而使机筒树脂产生分解或变质而引起的。

以上缺陷及问题的解决方法如表 4-18 所列。

表 4-18 透明产品的缺陷和克服方法

缺陷 克服方法	银纹	气泡	表面 光泽差	震纹	泛白、雾晕	白烟、黑点
树脂原料有杂质或污染	清除杂质、污染	—	—	—	清除杂质、污染	清除杂质、污染
树脂原料干燥	干燥要充分	干燥要充分	—	—	干燥要充分	
融料温度	降低、控制精确	保证塑化再降低	增加	增加，特别射嘴	降低、控制精确	尽量降低料温
注塑压力	增加	增加	增加	增加	增加	调整合适、不变质
注塑速度	—	增加	增加	增加		
注塑时间	—	增加	—	增加	—	—
保证压力	—	—	—	—	—	—
生产周期	—	—	—	—	减少	减少料在机筒内停留时间
背压压力	调整合适	—	—	—	增加	—
螺杆转速	减少	—	—	—	—	—
浇注系统	合理（尺寸及布局）	壁厚部分加浇口	设置布局合理	合理（尺寸及布局）	—	合理，尽量短粗
模具温度	—	调整适当，略增	增加	增加	增加	—
冷却时间	—	增加	增加	—	—	—
模具排气	排气孔够位置对	排气孔够位置对		加冷料并改善	—	排气孔够位置对
射嘴、流道、浇口	不能堵塞	料流畅、不塞	料流畅、不塞	料流畅、不塞	—	—
注塑量	—	增加	—	—	—	—

## 4.5 注塑成型新工艺

由于塑料制品的精度易控制，并且批量生产速度快，因此在现代制造业中被广泛应用，并且逐步替代金属以及其他传统材料。如图 4-37 所示，伴随着塑料制品的日益普及，产品设计师以及消费者们开始对塑料制品的精度、形状、功能、成本

等提出了更高的要求，传统的注塑成型工艺已难以适应现代产品创新的要求。主要表现在以下几个方面。



图 4-37 创意传真机

(1) 生产大面积结构制件时，高熔体黏度需要高注塑压力，高注塑压力要求较大锁模力，从而增加机器和模具的费用。

(2) 生产厚壁制件时，难以避免表面缩痕和内部缩孔，塑料件尺寸精度差。

(3) 加工纤维增加复合材料时，缺乏对纤维取向的控制能力，基体中纤维分布随机，增强作用不能充分发挥。

鉴于以上传统注塑成型技术无法满足与解决的情况，新的注塑成型工艺与技术不断演变、发展，出现了如气体辅助注塑、剪切控制取向注塑、层状注塑、熔芯注塑、低压注塑等新型注塑工艺，以满足不同应用领域的需求。

### 4.5.1 气体（水）辅助注塑成型

气体辅助注塑成型是自往复式螺杆注射机问世以来，注塑成型技术最重要的发展之一。它通过高压气体在注塑制件内部产生中空截面，利用气体积压，减少制品残余内应力，消除制品表面缩痕，减少用料，具有传统注塑成型无法比拟的优越性。气体辅助注塑的工艺周期一般可分为 6 个阶段。

#### (1) 塑料熔体填充阶段

塑料熔体首先由浇口注入模具型腔，一般熔体填充至模具型腔体积的 70%~96% 时，停止熔体注塑，该过程被称为“缺料注塑”。具体注塑的塑料熔体量由经验或通过模拟充填来确定。

注入量过大时，不能充分体现气辅注塑成型充气减重、改善制品质量和节省生产成本的优点，注入量过小时，填充较晚的部分熔体在注气后易被吹穿，从而造成气辅注塑成型的失败。这一阶段与传统注塑成型基本相同，只是在传统注塑成型时塑料熔体充满整个模具型腔而气辅注塑成型时塑料熔体只填充部分模具型腔，其余部分须依靠气体来充满。



### (2) 延迟时间阶段

这是指塑料熔体注塑结束到气体注塑开始的一段时间,称为延迟时间,其过程非常短暂。延迟时间对气辅注塑成型制品的质量有重要影响,通过延迟时间的改变可以改变制品气道处的熔体厚度分数。

### (3) 气体注塑阶段

这是指从气体开始注塑到整个模具型腔充满的一段时间,这一阶段相对整个成型周期来说很短,但是对于塑料制品的成型质量却至关重要。控制不好会产生许多缺陷,如产生气穴、熔体前沿吹穿,注塑不足和气体向较薄的部分渗透等。

### (4) 气体保压阶段

气体压力保持不变或略有升高使气体在塑料熔体内部继续穿透(称二次穿透)以补偿塑料熔体冷却引起的材料收缩。

### (5) 气体释放阶段

随着冷却周期的完成,气体入口压力降为大气压,气体排出,其中约 70 % 的气体可以重复利用。

### (6) 顶出阶段

当塑料制品冷却到具有一定刚度和强度后开模将其顶出,完成一个工艺循环过程。

气辅技术为许多原来无法用传统工艺注塑成型的制件提供了可能,在汽车、家电、家具、电子器件、日常用品、办公自动化设备、建筑材料等各个领域广泛应用,并且作为一项带有挑战性的新工艺为塑料成型开辟了全新的应用时代。气辅技术特别适用于制作以下几种的注塑制品。

#### (1) 管状、棒状制品

可成型手柄、挂钩、椅子扶手、淋浴喷头(图 4-38)等。采用中空结构,可在不影响制品功能和使用性能的前提下大幅度节省原材料,缩短冷却时间和生产周期。

#### (2) 大型平板制件

可成型汽车仪表板(图 4-39)、内饰件格栅、商用机器的外壳及卫星天线等。通过在制件内设置气道,可以显著提高制品的刚度和表面质量,减小翘曲变形和表面凹陷,大幅度降低锁模力,实现用较小的设备成型较大的制件。



图 4-38 淋浴喷头



图 4-39 汽车仪表板

### (3) 厚、薄壁一体的复杂结构制品

可成型电视机、计算机、打印机外壳及内部支撑和外部装饰件等，如图 4-40 所示。这类制品通常用传统注塑工艺无法一次成型，采用气输技术提高了模具设计的自由度，有利于配件集成，可大幅度缩短装配时间。



图 4-40 显示器外壳

水辅助注塑成型是 IKV 公司在气体辅助注塑成型技术基础上研发的新技术，用水代替氮气辅助管体流动，最后利用压缩空气将水从制件中压出。与气体辅助注塑成型相比，水辅助注塑成型能够明显缩短成型时间和减小制品壁厚，可应用于任何热塑性塑料，包括那些分子量较低、容易被吹穿的塑料，且可以生产大直径（40mm 以上）棒状或管状空心制件。此外，对于直径为 10mm 的制件，生产周期可从 60s 减至 10s（壁厚 1~1.5mm）；而直径为 30mm 的制件，生产周期则可由 180s 减至 40s（壁厚 2.5~30mm）。

### 4.5.2 模具滑动注塑成型

模具滑动注塑成型是由日本开发的一种两步注塑成型法，主要用于中空制品的制造。其原理是首先将中空制品一分为二，分别注塑形成半成品，然后将两部分半成品和模具滑动至对合位置，二次合模，在制品两部分结合缝再注入塑料熔体（二次注塑），最后得到完整的中空制品。与吹塑性品相比，该法成型制品具有表面精度高、尺寸精度高、壁厚均匀且设计自由度大等优点。

在制造形状复杂的中空制品时，模具滑动注塑成型法与传统的二次法（如超声波熔接）相比，其优点是不需要将半成品从模具中取出，因此，可以避免半成品在模具外冷却所引起的形状精度下降的问题；此处还可以避免二次熔接法因产生局部应力而引起的熔接强度降低问题。

### 4.5.3 熔芯注塑成型

当注塑成型结构上难以脱模的塑件，如汽车输油管和进排气管等复杂形状的空心塑件时，一般是将它们分成两个半成型，然后再拼合起来，致使塑料件的密封性较差。随着这类塑料件应用的日益广泛，人们将类似失蜡铸造的熔芯成型工艺引入注塑成型，形成了熔芯注塑成型方法。



熔芯注塑成型的基本原理：先用低熔点合金铸造成可熔型芯，然后把可熔型芯作为该件放入模具中进行注塑成型，冷却后把含有型芯的制件从模腔中取出，再加热将型芯熔化。为缩短型芯熔出时间，减少塑料件变形和收缩。

一般采用油和感应线圈同时加热的方式，感应加热使可熔型芯从内向外熔化，油加热熔化残存在塑料件内表面的合金表层。

熔芯注塑成型特别适于形状复杂、中空和不宜机械加工的复合材料制品，这种成型方法与吹塑和气辅助注塑成型相比，虽然要增加铸造可熔型芯模具和设备及熔化型芯的设备，但可以充分利用现有的注射机，且成型的自由度也较大。

熔芯注塑成型中，制件是围绕芯件制成的。制成后芯件随即被取出，这似乎与传统基础工业的做法类似，并不新奇。但是关键问题在于芯件的材料，传统的材料是不可能用来作为塑料加工中的芯件的，首先是硬度不够，难以在成型过程保持其形状，尤其是不能承受压力和熔体的冲击，更主要的是精度要求不适合塑料制品，所以，关键是要找到芯件的合适材料。目前常采用的 Sn-Bi 和 Sn-Pb 低熔点合金。

熔芯注塑成型已发展成—专门的注塑成型分支，伴随着汽车工业对高分子材料的需求，有些制件已实现批量生产，如网球拍手柄是首先大批量生产的熔芯注塑成型制品；而汽车发动机的全塑多头集成进气管已获得广泛应用；其他的新用途有：汽车水泵、水泵推进轮、离心热水泵、航天器油泵等，如图 4-41 所示。



图 4-41 熔芯注塑成型制品

## 4.5.4 受控低压注塑成型

传统的注塑成型过程可分为控制熔体入口速度的充填过程和控制熔体入口压力对塑料冷却收缩进行补料的保压过程。充填过程中熔体的入口速度是一定的，随着充填过程的进行，熔体在模腔内的流动阻力逐渐增加，因此，熔体入口压力也容易随着增高，在充填结束时入口压力出现较高峰值。由于高压在型腔内的作用，不仅会造成熔料溢边、胀模等不良现象，而且会使塑料件内部产生较大内应力，塑料件脱模后易出现翘曲和变形，使塑料件形状精度和尺寸精度难以满足较高要求，在使用过程中也易出现开裂现象。

为了降低或避免塑料在充填过程中因较高的型腔压力产生的内应力,将塑料件的变形限制在较低的范围内,应以塑料件充填所需的最低压力进行充填,这样就可降低型腔内压力。受控低压注塑成型与传统注塑成型的主要差别在于:传统注塑成型充填阶段控制的是注塑速率,而低压注塑成型充填阶段控制的是注塑压力。在低压注塑过程中,型腔入口压力恒定,但注塑速率是变化的,开始以很高的速度进行注塑,随着注塑时间的延长,注塑速率逐渐降低,这样就可以大幅度消除塑料件内应力,保证塑件的精度。高速注塑时,熔体高速流动所产生的剪切黏性热可提高熔体温度,降低熔体黏度,使熔体在低压下充满型腔成为可能。由于低压注塑是以恒定压力为基准进行熔体充填,因而低压注射机有其独特的油压系统。

为了实现低压高速成型,需对传统注射机的注塑系统作必要的改进,目前国外已开发出多腔液压注塑系统,其主要功能有如下

- (1) 在同一油压下可多级变换最高注塑压力。
- (2) 可在低注塑压力下实施高速注塑。

由于低压注塑成型的基本原理与一般注塑成型相同,所以,两种成型方式所用模具的结构完全一样。但低压注塑成型用低压充填,不出现压力峰值,可避免细小型芯的折断或损坏,有利于提高模具的使用寿命。另一方面由于低压注塑成型对模具的磨损较小,对模具的温度控制和排气等要求也不很高。可采用由锌-铝合金材料制造和简易注塑模,这样不仅可以降低生产成本,而且能快速地产出小批量精密塑料件,以适应目前市场上多品种、小批量生产的需要。

### 4.5.5 注塑-压缩成型

这种成型工艺是为了成型光学透镜表面开发的。其成型过程为:模具首次合模,但动模、定模不完全闭合而保留一定的压缩间隙,随后向型腔内注塑熔体;熔体注塑完毕后,由专设的闭模活塞实施二交合模,在模具完全闭合的过程中,型腔中的熔体再一次流动并压实。

与一般的注塑成型相比,注塑-压缩成型的特点如下。

- (1) 熔体注塑是在模腔未完全闭合情况下进行的,因而流道面积大,流动阻力小,所需的注塑压力也小。
- (2) 熔体收缩是通过外部施加压力给模腔使模腔尺寸变小(模腔直接压缩熔体)来补偿的,因而型腔成压力分布均匀。

因此,注塑-压缩成型可以减少或消除由充填和保压产生的分子取向和内应力,提高制品材质的均匀性和制品的尺寸稳定性,同时降低塑料件的残余应力。注塑-压缩成型工艺已广泛用于成型塑料光学透镜。蓝光碟片等高精度塑料件以及难以注塑成型的薄壁塑料件,如图 4-42、图 4-43 所示。此外注塑-压缩成型在玻璃纤维增强树脂成型中的应用也日益普及。





图 4-42 CD-RW 盘片



图 4-43 蓝光碟片

## 4.5.6 剪切控制取向注塑成型

剪切在制取向注塑成型实质是通过浇口将动态的压力施加给熔体，使模腔内的聚合物熔体产生振动剪切流动，在其作用下不同熔体层中的分子链或纤维产生取向并冻结在制品中，从而控制制品的内部结构和微观形态，达到控制制品力学性能和外观质量的目的。将振动引入模腔的方法有螺杆和辅助装置加振两种。

### （1）螺杆加振

螺杆加振的工作原理是给注塑油缸提供脉动油压，使注塑螺杆产生往复移动而实现振动，注塑螺杆产生的振动作用于熔体，并通过聚合物把振动传入模腔，从而使模腔中的熔体产生振动，这种振动作用可持续到模具绕口封闭。此种装置比较简单，可以利用注射机的控制系统，或对注射机的液压和电气控制系统加以改造来实现。

### （2）辅助装置加振

辅助装置加振是将加振装置安装在模具与注射机喷嘴之间，注塑阶段与普遍注塑一样，通常熔体仅通过一个浇口，此浇口活塞后退以保持流道通畅，另一活塞则切断另一流道；模腔充满后，两个保压活塞在独立的液压系统驱动下开始以同样的频率振动，但其相位差  $180^\circ$ 。通过两个活塞的往复运动，把振动传入模腔，使模腔中的熔体一边冷却，一边产生振动剪切流动。试验证明这种工艺有助于消除制品的常见缺陷（如缩孔、裂纹、表面沉陷等），提高熔接线强度；利用剪切控制取向成型技术、通过合理设置浇口位置和数量，可以控制分子或纤维的取向，获得比普通注塑成型制品强度更高的制品。

剪切控制取向注塑成型过程中聚合物熔体被注入模腔后，模腔内开始出现固化层。由于固化层附近速度梯度最大，此处的熔体受到强烈的剪切作用，取向程度最大。中心层附近速度梯度小，剪切作用小，因而取向程度也小。在保压过程中引入振动，使模腔中的聚合物熔体一边冷却，一边受振动的剪切作用，振动剪切产生的取向因模具的冷却作用而形成一定厚度的取向层。同没有振动作用相比，振动剪切流动所产生的取向层厚度远远大于普通注塑所具有的取向层厚度，这就是模腔内引入振动剪切流动能使制品的力学性能得到提高的原因。此外，由于振动产生的周期性的压缩增压和

释压膨胀作用,可在薄壁部分产生较大的剪切内热,延缓这些部分的冷却,从而使厚壁部分的收缩能从浇口得到足够的补充,有效防止缩孔、凹陷等缺陷。

### 4.5.7 推-拉注塑成型

这种成型方法可消除塑料件中熔体缝、空隙、裂纹以及显微疏松等缺陷,并可控制增强纤维的排列。它采用主、辅两个注塑单元和一个双绕口模具。工作时,主注塑单元推动熔体经过一个绕口过量充填模腔。多余的料经另一浇口进入辅助注塑单元,辅助注塑螺杆后退以接受模腔中多余熔体;然后辅助注塑螺杆向前运动向模腔注塑熔体,主注塑单元则接受模腔多余熔体。主、辅注塑单元如此反复推拉,形成模腔内熔体的振动剪切流动,当靠近模壁的熔体固化时,芯部的熔体在振动剪切流动,当靠近模壁的熔体固化时,芯部的熔体在振动剪切的作用下产生取向并逐渐固化,形成高取向度的制品。一般制品成型需10次左右的循环,最高的可达40次。

推-拉注塑成型的周期比普通注塑成型的周期长,但由于在推-拉运动中材料被冷却固化,保压阶段对于控制收缩和翘曲已不是很重要了。在推-拉注塑成型中,注塑阶段和保压阶段合二为一。用此种注塑工艺对玻璃纤维增强LCP的推-拉注塑成型结果表明,与常规的注塑成型相比,材料的拉伸强度和弯曲弹性模量可分别提高420%和270%。

### 4.5.8 层状注塑成型

层状注塑成型是一种兼有共挤出成型和注塑成型特点的成型工艺,该工艺能在复杂制件中任意地产生很薄的分层状态。层状注塑成型同时实施两种不同的树脂注塑,使其通过一个多级共挤模头,各股熔体在共挤模头中逐级分层,各层的厚度变薄而层数增加,最终进入注塑模腔叠加,保留通过上述过程获得的层状形态,即两种树脂不是沿制品厚度方向呈无序共混状态存在的,而是复合叠加在一起。层状注塑可成型每层厚度为0.1~10 $\mu$ m,层数达上千层的制品。因层状结构,保留了各组分材料的特性,比传统共混料更能充分发挥材料性能,使其制品在阻隔气全渗透、耐溶剂、透明性方面各具突出优点。

### 4.5.9 微孔发泡注塑成型

在传统的结构发泡注塑成型中,通常采用化学发泡剂,由于其产生的发泡压力较低,生产的制件在壁厚和形状方面受到限制。微孔发泡注塑成型采用超临界的惰性气体受到限制。微孔发泡注塑成型采用超临界的惰性气体( $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ )作为物理发泡剂,如图4-44所示,其工艺过程分为4步。

(1) 气体溶解:将惰性气体的超临界液体通过安装在构筒上的注塑器注入聚合物熔体中,形成均相聚合物/气体体系。

(2) 成核:充模过程中气体因压力下降从聚合物中析出而形成大量均匀气核;

(3) 气泡长大:气在精确的温度和压力控制下长大。

(4) 定型:当气泡长大到一定尺寸时,冷却定型。

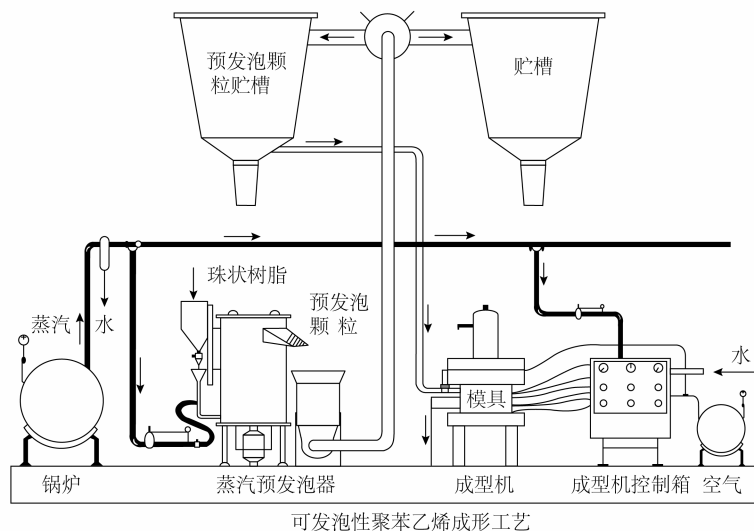


图 4-44 发泡材料成型工艺

微孔发泡与一般的物理发泡有较大的不同。首先，微孔发泡加工过程中需要大量惰性气体如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  溶解于聚合物，使气体在聚合物呈饱和状态，采用一般物理发泡加工方法不可能在聚合物-气体均相体系中达到这么高的气体浓度。其次，微孔发泡的成核数要大大超过一般物理发泡成型，其采用的是热力学状态逐渐改变的方法，可减少易导致产品中出现大的泡孔以及泡孔尺寸分布不均匀的弊病。微孔塑料成型过程中热力学状态迅速地改变，其成核速率及泡核数量大大超过一般物理发泡成型。

与一般发泡成型相比，微孔发泡成型有许多优点。其一是它形成的气泡直径小，可以生产因一般泡沫塑料中微孔较大而难以生产的薄壁（1mm）制品；其二是微孔发泡材料的气孔为闭孔结构，可用和阻隔性包装产品；其三是生产过程中采用  $\text{CO}_2$  或  $\text{N}_2$ ，因而没有环境污染问题。

美国 Trexel 公司在 MIT 微孔发泡概念的基础上，将微孔发泡注塑成型技术实现了工业化，形成了 MuCell 专利技术。MuCell 工艺用于注塑的主要优点是，反应为吸热反应，熔体黏度低，熔体和模具温度低，因此使制品成型周期、材料消耗和注塑压力及锁模力都降低了，而且其独特之处还在于这种技术可用于薄壁制品以及其他发泡技术无法发泡制品的注塑。MuCell 在注塑成型技术上的突破为注塑制品生产提供了以前其他注塑工艺所不具有的巨大可能，为新型制品设计、优化工艺和降低产品成本开拓了新的途径。采用 MuCell 技术的注塑制品正被用于许多工业领域，包括汽车、医药、电子、食品包装等各个行业。

## 第 5 章

# 塑料产品结构设计与优化





随着塑料材料的普及与应用，塑料材料的产品几乎延伸到了生活的每一个领域。塑料产品的设计与机械设计，以及其他材料如钢、铜、铝、木材等的设计具有一定的类似。但是，由于塑料材料组成的多样性，易于成型等特性，造就了其产品结构、形状的多变性，使得它比起其他材料有更理想的设计特性。尤其是塑料产品的形状设计、材料选择、制造方法选择等，其可塑性是其他大部分材料无可比拟的。因为其他的大部分材料，其设计者在外形或制造上都受到相当的限制，有些材料只能利用弯曲、熔接等方式来成型，而有些材料则无法成型复杂的装配结构以及多样化的造型特征。塑料材料选择的多样性，也使得设计工作变得更为困难，资料显示，目前已经有一万种以上的不同塑料被应用过，虽然其中只有数百种被广泛应用，但是塑料材料的形成并不是由单一材料所构成，而是由一群材料族所组合而成，其中每一种材料又有其特性，这使得材料的选择、设计、应用更为困难。

## 5.1 结构优化实例分析

在塑料产品的设计过程中，基于塑料材料的产品设计是影响产品开发成功与否的一个关键因素。结构设计是决定一个产品设计是否成功的关键，合理的结构设计不单提高了产品的可靠性、创新度，并且保证了产品的使用性能，降低材料的浪费；还保证了产品的装配、维修、更换等工序，给产品的个性化提供了平台。同样，一个不合理的结构则会导致产品的失败与报废。通俗的表达为，外观造型设计是衣服，结构设计是骨骼，功能技术是内脏。在本章中将会通过介绍塑料产品结构设计过程中最为关键、基本的结构设计知识，以及结构优化的实例来提升设计师结构设计的成功率。

### 5.1.1 支柱设计

支柱（Boss）又称凸台，如图 5-1 所示。是指突出于塑料壁厚，用以装配产品、隔开对象及支撑托其他零件之用。空心的支柱可以用来嵌入镶件、收紧螺钉等。这些应用均要有足够强度支持压力而不致破裂。

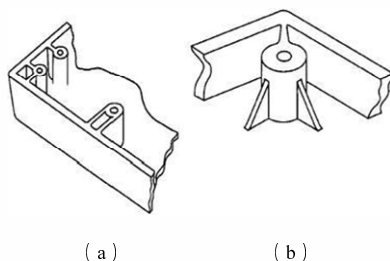


图 5-1 支柱设计

支柱尽量不要单独使用，应连接至外壁或与加强筋一同使用，目的是加强支柱的强度及使胶料流动更顺畅。因为在通常的塑料产品设计中，凸台是承受应力的集中部位，尤其是用于自攻螺钉的凸台，在设计时必须要考虑螺钉的旋入力以及在使

用过程中的负载承受力。如图 5-2 所示。此外，因过高的支柱会导致塑料部件成型时困气，所以支柱高度一般是不会超过支柱直径的 2.5 倍。

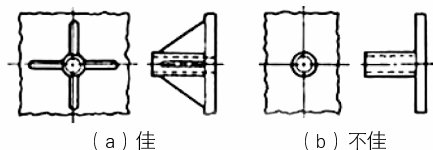


图 5-2 凸台的加强设计

加强支柱的强度的方法，尤其是远离外壁的支柱，除了可使用加强筋外，三角加强块（Gusset Plate）的使用亦十分常见，如图 5-3 所示。



图 5-3 支柱的两种设计类型

一个使用性能好的螺钉或支柱设计组合取决于螺钉的机械特性及支柱孔的设计，一般塑料产品的料厚尺寸是不足以承受大部分紧固件产生的应力。从使用与装配的方面考虑，在凸台周围增加加强筋是一种凸台强度增强的方法。但这也会给注塑成型中带来不良的影响，如形成缩水痕、空穴、或增加内应力。因此，在设计时要注意以下设计要点。

## 1. 一般凸台设计的要点

(1) 凸台的位置应尽可能位于制品的边角部位，同时通过角撑或加强筋来减少材料集中所带来的注塑缺陷，凸台设计比较如图 5-4、图 5-5 所示。

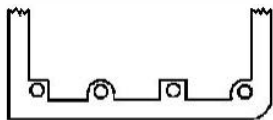


图 5-4 不好的凸台设计

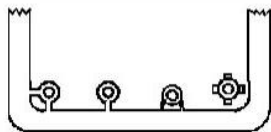


图 5-5 较好的凸台设计

(2) 凸台的高度应不高于凸台本身直径的 2 倍，否则需要通过增加加强肋来保证凸台的强度，而凸台的长度太长时则会引起气孔、烧焦、充填不足等问题，如图 5-6 所示。

(3) 为防止塑料成型过程中的凸台部位出现缩水现象，应做防缩水结构——“火山口”，在外观品质要求较高的情况下，应特别注意这类凸台的设计。

(4) 凸台的外部拔模角度应相对的拔小，内部的拔模角度应相对的拔大，通常凸台的拔模角取值为  $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 。



(5) 凸台的设计应尽可能采用圆形, 避免方形以及矩形截面的凸台。

(6) 凸台的外径尽可能的是内径的 2 倍, 其次凸台的高度应是壁厚的 2~5 倍。如图 5-7 所示  $W$  的尺寸不可以超过壁厚的 60%, 并在过度处加上壁厚 25% 的半径。为有效地控制缩水印痕, 通常采用的方式是尽可能地把芯部壁厚减薄, 使  $T$  的尺寸为壁厚的 50%~70%。

支柱设计标准如图 5-8 所示, 凸台与螺钉对应关系见表 5-1。

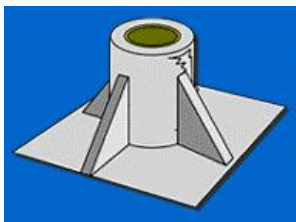


图 5-6 充填不足

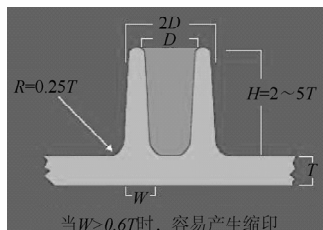


图 5-7 凸台设计尺寸关系示意图

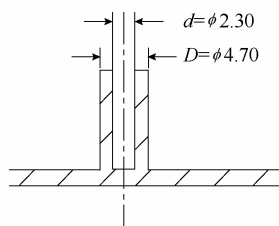


图 5-8 设计标准关系示意图

表 5-1 凸台与螺钉查询表

螺钉	$\phi d$	$\phi D$
$\phi 2.0 \text{ mm}$	$\phi 1.7 \text{ mm}$	$\phi 4.3 \sim 4.4 \text{ mm}$
$\phi 2.3 \text{ mm}$	$\phi 1.9 \text{ mm}$	$\phi 4.7 \sim 4.8 \text{ mm}$
$\phi 2.6 \text{ mm}$	$\phi 2.3 \text{ mm}$	$\phi 5.0 \text{ mm}$
$\phi 3.0 \text{ mm}$	$\phi 2.6 \text{ mm}$	$\phi 5.5 \text{ mm}$
$\phi 3.5 \text{ mm}$	$\phi 3.0 \text{ mm}$	$\phi 6.0 \text{ mm}$

## 2. 支柱套设计

当设计的产品是通过支柱方式收紧螺钉时, 成品的上壳身必须要有支柱套来做配合定位。根据一般的安全规格标准, 螺钉头必须收藏于不能触摸的位置, 因此, 支柱套高度必须不小于 2.5mm。同时为方便生产装配时的导入, 所以, 在每一个支柱套的底部都可以加上导向, 通常采用倒角, 以作导入之用。而且因为定位的关系, 在支柱套底部必须要有至少 1.0mm 的深度来收藏支柱。如图 5-9 所示, 一般支柱与支柱套的设计尺寸关系。

## 3. 不同材料凸台的设计要点

### (1) ABS

其通常设计的支柱外径, 取值为支柱内径的 2 倍。但有时采用这种方式的结果, 会导致支柱壁厚等于或超过塑料壁厚, 致使物料重量增加以及在制品表面产生缩水纹与高成型应力。严格来说支柱的厚度应为胶料厚度的 50%~70%。因此, 这种设计方式不能给支柱提供足够的强度, 但已改善了表面缩水状况, 此时可以通过增加三角筋以加强支柱的强度。支柱周围的三角加强筋高度应不超过支柱高的 90%, 若支柱位置接近边缘壁, 则可采用一条肋骨将边壁和支柱相互进行连接以支持支柱的强度, 其设计关系如图 5-10 所示。

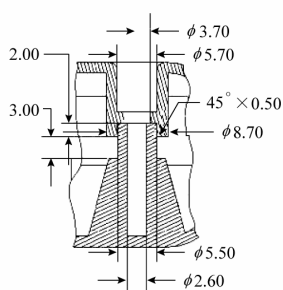


图 5-9 一般支柱与支柱套的设计

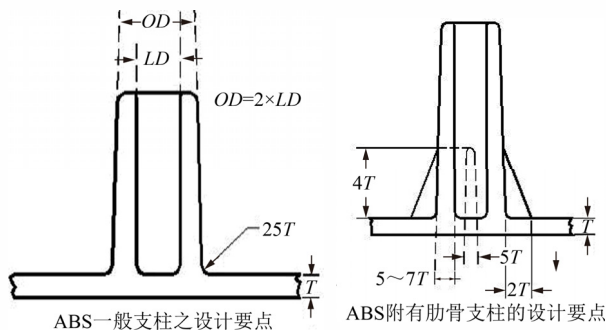
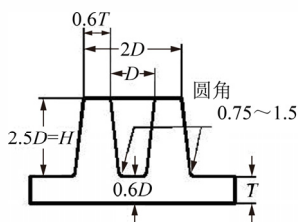


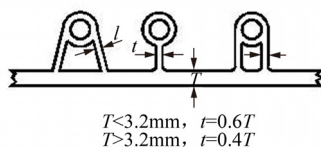
图 5-10 ABS 材料支柱设计要点

## (2) PBT

其支柱通常用于机构装配，如收螺钉、紧压配合、导入装配等情况，一般支柱外径是内孔径的 2 倍就达到强度要求。支柱设计类似加强肋设计的观念。太厚的切面会产生部件外缩水和内部真空。支柱的位置在边壁旁时可利用肋骨相连，则内孔径的尺寸可增至最大，其设计关系如图 5-11 所示。



(a) PBT 支柱的设计指引

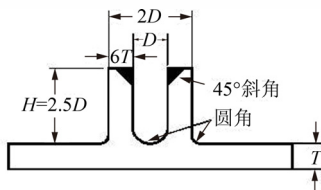


(b) PBT 靠在边壁旁的支柱设计方式

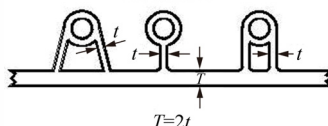
图 5-11 PBT 材料支柱设计要点

## (3) PC

其支柱大部分用来装配产品，有时用做支撑其他物件或隔开物体之用。甚至一些很细小的支柱最终会热熔后固定内部零件。一些位于边位的支柱是需要加强肋作为互相依附，以增加支柱强度，其设计关系如图 5-12 所示。



(a) PC 支柱的设计



(b) PC 支柱在边位时与加强肋的配合

图 5-12 PC 支柱设计要点





## (4) PS

其支柱通常用于打入件、收螺钉、导向针、攻牙或作紧迫配合等。可能情形之下避免独立一支支柱而无任何支撑。应加一些加强肋以加强其强度。若支柱离边壁不远应以加强肋将柱和边相连在一起,其设计关系如图 5-13 所示。

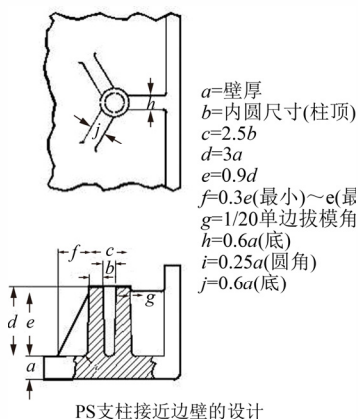


图 5-13 PS 支柱设计要点

## (5) PSU

其支柱用于连接两部件,外径应是内孔径的 2 倍,高度不应超过外径的 2 倍,其设计关系如图 5-14 所示。

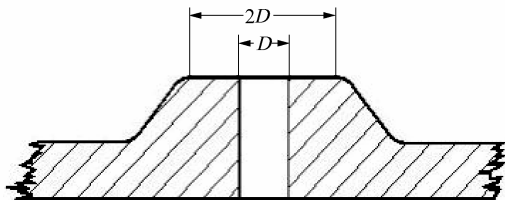


图 5-14 PSU 支柱设计要点

### 5.1.2 壁厚设计

塑料制品的壁厚是结构设计中的基本要素,所延伸出来的凸台、支柱、圆角等都是以此壁厚为参照。塑料制品的壁厚取决于塑件的使用要求,太薄会造成制品的强度和刚度不足,受力后容易产生翘曲变形,成型时流动阻力大,大型复杂的制品就难以充满型腔。当塑料制品的壁厚过大时,不但浪费材料,而且加长成型周期,降低生产率,还容易产生气泡、缩孔、翘曲等疵病。

塑料制品的壁厚主要有以下几个方面的作用。

(1) 使制品具有确定的结构和一定的强度、刚度,以满足制品的使用要求。

(2) 成型时具有良好的流动状态(如壁不能过薄)以及充填和冷却效果(如壁不能太厚)。

(3) 合理的壁厚使制品能顺利地从模具中顶出。

(4) 满足嵌件固定及零件装配等强度的要求。

(5) 防止制品翘曲变形。

产品的壁厚直接影响着成型周期和生产效率,通常产品必须有均匀的壁厚。不均匀的壁厚会造成严重的翘曲以至于尺寸难以控制,如图 5-15 所示为不合理的壁厚在成型过程中所出现的翘曲变形现象,通过 3 种不同类型的设计改进后所得到的理想效果。因此塑料制品设计时确定制品壁厚应注意以下 12 个方面。



图 5-15 壁厚设计

(1) 在满足制品结构和使用要求的条件下,尽可能采用较小的壁厚。

(2) 制件的各部位壁厚在满足机械强度的条件下应尽可能使厚度均匀一致,以防止缩痕产生尽量均匀,以减小内应力和变形。

(3) 装配时承受紧固力部位必须保证压缩强度。

(4) 制品壁厚的设计,要能承受成型顶出时的冲击和振动。

(5) 在制品的连接紧固处、嵌件埋入处、塑料熔体在孔窗的汇合(熔接痕)处,要具有足够的厚度。

(6) 避免过厚部位产生缩孔和凹陷。

(7) 保证储存、搬运过程中强度所需的壁厚。

(8) 满足成型时熔体充模所需壁厚,既要避免充料不足或易烧焦的薄壁,又要避免熔体破裂或易产生凹陷的厚壁。

(9) 尽可能使产品不要出现尖角、大角度拐角,尽量多设计倒圆,以减少流动阻力。

(10) 在产品外表面上有圆柱结构时,将其设计为空心,并且其厚度与高度应遵循:  $T=0.5\sim 0.75W$ ,  $H<5W$  ( $T$ 为圆柱壁厚,  $H$ 为圆柱高度,  $W$ 为产品壁厚)。

(11) 塑料件相邻两壁应尽量相等,若需要有差别时,相邻的壁厚比应满足以下要求:  $t:t_1\leq 1.5\sim 2$ , 如图 5-16 所示,相邻壁厚比。

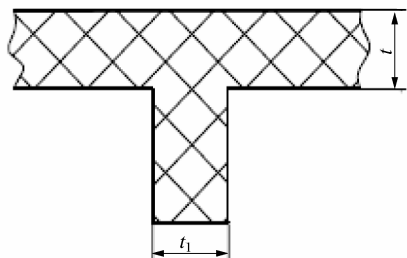
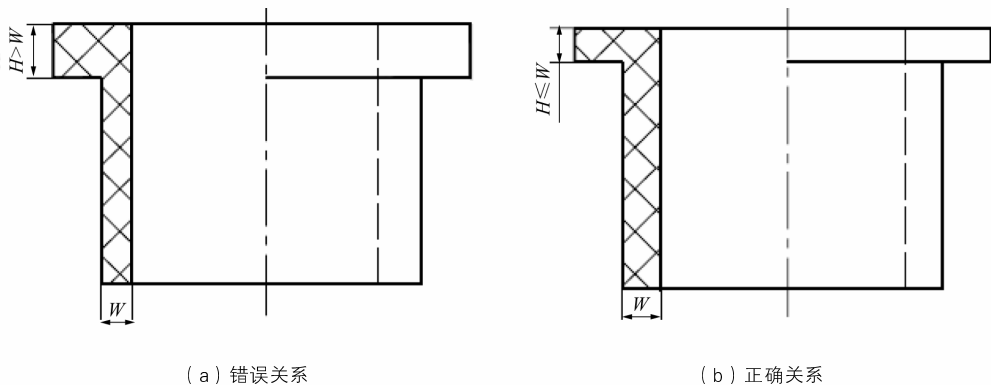


图 5-16 相邻壁厚比

(12) 塑料制品的凸肩  $H$  与壁厚  $W$  之间的关系, 如图 5-17 所示, 图 (a) 的  $H > W$ , 造成制品的壁厚不均匀。应改为图 (b) 的  $H \leq W$ , 可降低壁厚的不均匀程度。



(a) 错误关系

(b) 正确关系

图 5-17 凸肩  $H$  与壁厚  $W$

制品壁厚首先取决于使用要求, 但是成型工艺对壁厚也有一定要求, 塑件壁厚太薄, 使充型时的流动阻力加大, 会出现缺料和冷隔等缺陷; 壁厚太厚, 塑件易产生气泡、凹陷等缺陷, 同时也会增加生产成本。塑件的壁厚应尽量均匀一致, 避免局部太厚或太薄, 否则会造成因收缩不均产生内应力, 或在厚壁处产生缩孔、气泡或凹陷等缺陷。塑料制品的壁厚一般为  $1 \sim 4\text{mm}$ , 大型塑件的壁厚可达  $6\text{mm}$  以上, 一般塑料制件都规定有最小壁厚值, 因塑料品种、牌号及制品大小的不同而有所差异。壁厚过大不仅浪费原料, 对热固性塑料成型来说, 还增加了模压的时间, 并且容易造成固化不完全; 而对热塑性塑料来说, 则增加了冷却时间 (根据经验推算, 制品厚度增加 1 倍, 冷却时间将增加 4 倍)。如表 5-2 所列, 均匀壁厚原则的改善设计。

热固性塑料的小型制件, 壁厚一般取  $1.6 \sim 2.5\text{mm}$ , 大型制件取  $3.2 \sim 8\text{mm}$ 。布基酚醛塑料等流动性较差的品种应取较大值, 但一般不宜大于  $10\text{mm}$ 。脆性塑料 (如矿粉填充的酚醛塑料) 制件壁厚不应小于  $3.2\text{mm}$ 。

热塑性塑料比较容易成型薄壁制件，壁厚可以设计为 0.25mm，但一般不宜小于 0.6~0.9mm，常选取 2~4mm。几种常见热塑性塑料的壁厚常用值见表 5-3。

表 5-2 均匀壁厚原则的改善设计

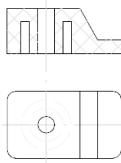
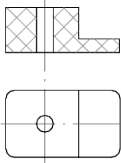
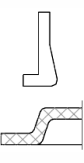
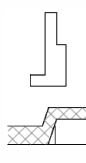
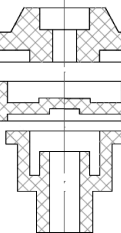
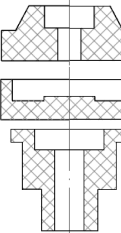
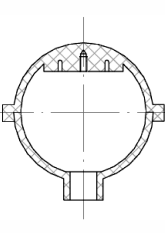
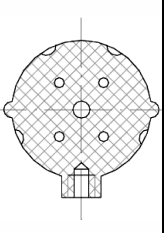
良	不良	说明	良	不良	说明
		局部不可过厚，否则会产生缩陷活缩孔。热固性塑料则交联不完全，强度降低			若因制件要求，需要不同壁厚时，应逐渐过渡，不可突然加厚，而且厚度变化比不应大于 1：2
		如将金属之间改用塑件时，须注意将原来实体的结构改为薄壳结构，以保证成型后的外观质量			如球类手柄，不应做成实体，应改为相对的两件薄壳结构，最后组成一体

表 5-3 热塑性塑料常用壁厚推荐值及最小壁厚

单位：mm

塑料种类	最小壁厚	小型制品壁厚	中型制品壁厚	大型制品壁厚
PA	0.45	0.76	1.5	2.4~3.2
PE	0.6	1.25	1.6	2.4~3.2
PP	0.6	1.25	1.6	2.4~3.2
PS	0.75	1.25	1.6	3.2~5.4
PC	0.95	1.8	2.3	3~4.5
POM	0.8	1.4	1.6	3.2~5.4
HIPS	0.75	1.25	1.6	3.2~5.4
PMMA	0.8	1.5	2.2	4~6.5
PPO	1.2	1.75	2.5	3.5~6.4
PSF	0.95	1.8	2.3	3~4.5
硬质 PVC	1.2	1.6	1.8	3.2~5.8

1. 壁厚设计基本设计守则

壁厚的厚度取决于产品需要承受的外力，以及是否作为其他零件的支撑、承接柱位的数量、伸出部分的多少以及选用的材料而定。一般的热塑性塑料壁厚设计应以 4mm 为限。从产品设计成本角度出发，过厚的产品不但增加物料成本，延长生产周期即冷却时间，以至于增加生产成本。从产品设计工艺角度出发，过厚的产品增加引致产生空穴即气孔，以至于削弱产品的刚性及强度。



理想的壁厚是制品所分布的切面均匀一致，而在实际应用中为满足功能上的需求改变壁厚总是无可避免的。如图 5-18 所示为产品壁厚设计所做的改进设计，既保证了使用工艺性与结构合理性，又节省了材料。但这其中由厚壁过渡到薄壁的转折处应尽可能顺滑。太突然的壁厚过渡转变会导致因冷却速度不同和产生乱流而造成尺寸不稳定，以至于在使用过程中因为应力集中而出现断裂等现象。

对常规的热塑性塑料而言，当收缩率低于 1% 时，产品可允许厚度的改变大；但当收缩率高于 1% 时，产品壁厚的改变则不应过大。但对于一些容易流动的热固性塑料如环氧树脂等，如厚薄均匀，最低的厚度可达 0.25mm。

当制品采用批量化注塑生产时，流道、浇口和部件的设计应使塑料由厚胶料处流向薄胶料处。这样使模腔内有适当的压力以减少在厚胶料的地方出现缩水及避免模腔不能完全充填的现象。若塑料的流动方向是从薄胶料处流向厚胶料处，则应采用结构性发泡的生产方法来减低模腔压力。图 5-19 所示为浇口与壁厚设计。

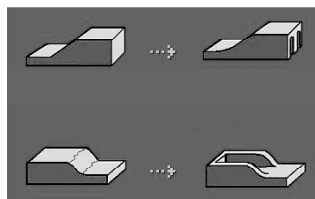


图 5-18 产品壁厚设计

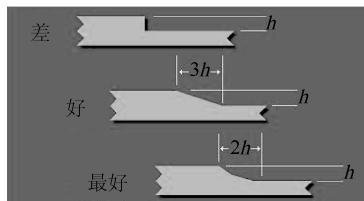


图 5-19 壁厚过渡设计

在大部分的热融注塑操作过程中，包括挤压和固化成型，均匀的制品壁厚是非常重要的。壁厚的部位比旁边壁薄的部位冷却时间长，由于制品冷却时间的不一致，导致制品在壁的厚薄相接处出现收缩痕，更严重者产生缩水印、热内应力、挠曲部分歪曲、颜色不同或不同透明度等问题。若壁厚的部位渐变成壁薄是必需的设计要求，此时应尽量设计成渐次的改变，并且不超过壁厚的 3 倍。如图 5-20 所示为壁厚过渡设计。

转角在壁厚设计中是最常见的，壁厚均匀的设计要求在转角处也同样需要，以免冷却时间不一致而带来制品的应力集中或者断裂情况的出现。此外，尖锐的转角位通常会导致部件有缺陷与翘曲，尖角的位置亦常在电镀过程后引起物料的脱落与聚积。较大的转角圆角过渡提供了这种缺点的解决方法，不但减低应力集中的因素，而且令塑料的流动更畅顺和成品脱模更容易。

图 5-21 所示为转角壁厚设计。转角位的设计准则亦适用于悬梁式扣位，因这种扣紧方式是需要将悬梁臂弯曲嵌入，如果转角弧位  $R$  太小时会引致其应力集中过大，产品弯曲时容易折断，弧位  $R$  太大的话则容易出现收缩纹和空洞。因此，圆弧位和壁厚是有一定的比例，一般为 0.2~0.6，理想数值为 0.5 左右。图 5-22 所示为圆弧/壁厚 ( $R/T$ ) 设计关系。

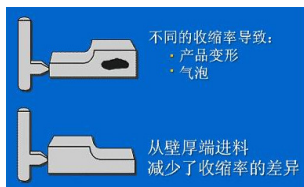


图 5-20 浇口与壁厚设计

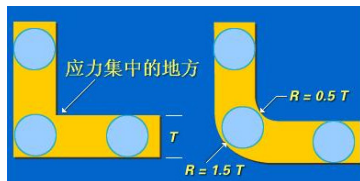


图 5-21 转角壁厚设计

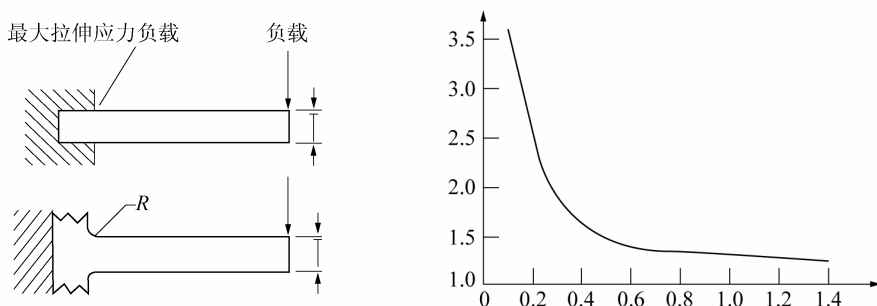


图 5-22 圆弧/壁厚 ( $R/T$ ) 关系

## 2. 不同材料壁厚的设计要点

### (1) ABS 壁厚

壁厚是结构设计中最先被考虑的，一般用于注塑成型的为 1.5mm~4.5mm。壁厚小于此范围的用于塑料流程短和细小部件。典型的壁厚约在 2.5mm 左右。一般来说，部件愈大壁厚愈厚，这可增强部件强度和塑料充填。壁厚为 3.8mm~6.4mm 范围可使用结构性发泡。

### (2) PC 壁厚

壁厚大部分是由负载要求、内应力、几何形状、外形、塑料流量、可注塑性和经济性来决定。PC 的建议最大壁厚为 9.5mm。若要效果好，则壁厚应不超过 3.1mm。在一些需要将壁厚增加使强度加强时，肋骨和一些补强结构可提供相同结果。PC 大部分应用的最小壁厚为 0.75mm 左右，再薄一些的地方是要取决于部件的几何和大小。短的塑料流程可以达到 0.3mm 的壁厚。

### (3) LCP 壁厚

由于液晶共聚物在高剪切情况下有高流动性，所以壁厚会比其他的塑料薄。最薄可达 0.4mm，一般厚度为 1.5mm 左右。

### (4) PS 壁厚

一般的设计胶料的厚度应不超过 4mm，太厚会延长生产周期。此外，因需要更长的冷却时间，塑料收缩时有中空的现象，会降低部件的物理性质。均一的壁厚在设计上是最理想的，但有时需要将厚度转变，就要将过渡区内的应力集中除去。如收缩率在 1% 以下则壁厚的转变可有较大的变化。若收缩率在 1% 以上则应只有较小的改变。



## (5) PA 壁厚

尼龙的塑料零件设计应采用结构所需要的最小厚度。这种厚度可使材料得到最经济的使用。壁厚尽量能一致以消除成型后变形。若壁厚由厚过渡至薄时则需要采用渐次变薄的方式。

## (6) PSU 壁厚

常用于大型和长流距的壁厚最小为 2.3mm。细小的部件可以至少要有 0.8mm，而流距应不可超过 76.2mm。

## (7) PBT 壁厚

薄的壁厚要视每种塑料特性而定。设计之前宜先了解所使用塑料的流动长度限制来决定壁厚，负载要求也同样重要，而其他还包括如内应力，部件几何形状，不均一化和外形等。典型的壁厚为 0.76mm~3.2mm。壁厚要求均一，若有厚薄胶料的地方，以比例 3:1 的锥形渐次由厚处过渡至薄处。

### 5.1.3 圆角设计

圆角设计在塑料制品的设计中是最为常见的应用形式。如图 5-23 所示。圆角在产品的外观造型设计中也是最为常用的表达形式，以使所设计的产品外形更加流畅、美观，如图 5-24 所示。圆角在结构设计中主要是为了避免产品的应力集中，提高制品强度，改善物料流动情况和便于脱模。在结构设计中最为常见的是制品的各面边缘、转角及内部连接处，基本都采用圆弧过渡。

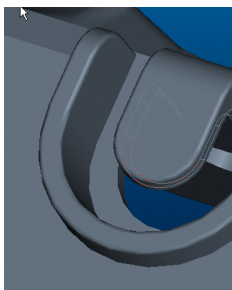


图 5-23 产品圆角设计



图 5-24 音响造型设计

#### 1. 圆角在产品设计中的主要作用

##### (1) 避免应力集中提高制品强度

在产品设计中，通常制品的转角处容易产生应力集中，在承受外力、冲击、振动时会发生部件的破裂。如果成型条件不当或零件结构不合理时，则会使部件产生很大的内应力，出现部件的应力开裂现象。实践证明，当圆角半径小于零件壁厚的 30% 时应力集中急剧增大，当大于壁厚 0.8 倍时，应力集中明显变小。因此，圆角太小时也可能引起产品应力集中，导致产品开裂。图 5-25 所示为圆角的优化设计改善了产品的注塑成型。

## (2) 改善注塑成型的熔体流动情况便于脱模

对于一些流动性差的塑料或加入填料的塑料, 部件的设计圆角尤为重要, 不仅可改善充模性能, 而且可提高零件使用性能。

## (3) 圆角有利于模具制造提高模具强度

产品部件上设计了圆角, 模具的对应部位也呈圆角, 这就增加了模具的坚固性, 模具在淬火或使用不致因应力集中而开裂, 因而也增加了模具的强度。如果部件的圆角过小, 则导致相对应的模具型腔内圆角过小而致使型腔应力集中, 导致型腔开裂。圆角不小于 0.5mm, 一般外圆角  $R=1.5\text{mm}$ , 内圆角  $R_1=0.5\text{mm}$ 。设置合理的圆角, 应还可以改善模具的加工工艺性能, 如型腔可直接用  $R$  刀铣加工, 而避免低效率的电加工, 如图 5-26 所示。



(a) 尖角设计阻碍了熔体流动性



(b) 增加圆角改善了熔体流动性

图 5-25 圆角设计优化

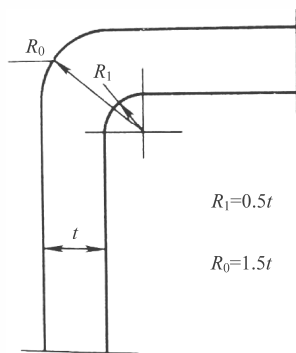


图 5-26 圆角设计关系图

## 2. 圆角在产品设计中的确定

在产品设计中不同的圆角可能会引起分型线的移动, 应结合实际情况选择不同的圆角或清角。在实际设计中, 通常内壁圆角半径应为壁厚的 1/2, 外壁圆角半径可为壁厚的 1.5 倍。其计算公式为: 内圆角  $R_1=0.5T$ , 外圆角  $R_0=1.5T$ 。

一般圆角半径不应小于 0.5mm, 壁厚不等的两壁转角可按平均壁厚确定内、外圆角半径, 最理想的内圆角半径应为壁厚的 1/3 以上。最佳圆角设计为  $R/T=0.6$ , 超过这点后,  $R$  即使再增加, 也只能小部分减少应力集中现象。图 5-27 所示为圆角应力系数关系图。

当内圆角  $R_1 \leq 0.3T$ ——应力剧增; 当内圆角  $R_1 \geq 0.8T$ ——几乎无应力集中。

圆角 ( $R$  角): 塑料产品设计除一些特殊要求指定要求锐边外, 在棱边处通常都要做圆角, 以便减小应力集中, 同时利于塑料的流动和成品脱模。最小  $R$  通常大于 0.3 mm, 当  $R < 0.3\text{ mm}$  时, 相对应的模具内腔很难有效加工。如图 5-28 所示, 对于一些矩形通孔设计, 设计师们通常会忘记做一些圆角处理。当在矩形的 4 个拐角处加上小圆角, 就能改善产品的工艺性能, 避免一些不必要的缺陷。有效防止在





出模时由于应力集中所导致的拉白拉裂等现象出现,而拐角处的小圆角在不影响设计效果的前提下,通常只需要设计成 0.3~0.5 mm 即可。

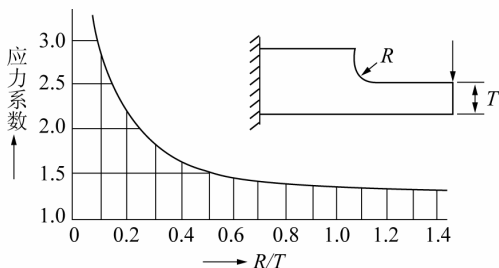


图 5-27 圆角应力系数关系图

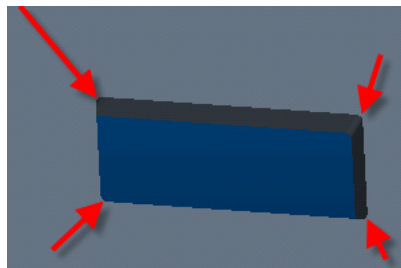


图 5-28 塑料产品圆角示意图

## 5.1.4 洞孔设计

在塑料产品结构设计中,孔有着独特的作用。通常孔的存在是为了两类要求,一类是为了满足其他零部件的装配,以及散热通风等要求;另一类是为了起到节省材料,以及修饰作用。

产品设计中孔的形式主要可分为圆形孔和非圆形孔两大类,其中圆形孔又分为盲孔、通孔、阶梯孔、凹阶孔、交截孔,如图 5-29 所示。



图 5-29 各种圆形孔

产品设计中孔的类型、大小、深度,决定了模具芯腔相应的形状、大小与深度。从利于模具加工角度考虑,孔最好设计成形状规则简单的圆孔,尽可能不要做成复杂的异型孔,孔径不宜太小,孔深与孔径比不宜太大,因细而长的模具型心容易折断和变形。根据孔径与孔深度的不同,孔的成型方式也有所不同,主要有以下成型方式,如下图 5-30 所示对应的 3 种方式。

(1) 一般通孔、盲孔,则直接采用模具成型。

(2) 制品成型后再钻孔。

(3) 对于深孔,则采用模具成型出孔的一部分深度,其余孔深度部分采用机械加工(如钻孔)获得。

相连洞孔的距离或洞孔与相邻产品直边之间的距离不能少于洞孔的直径,同时,洞孔的壁厚应尽可能大,否则穿孔位置容易产生断裂的情况。如在洞孔内附有螺纹,设计上的要求即变得复杂,因为螺纹的位置容易形成应力集中的地方。从经验所得,要使螺孔边缘的应力集中系数减低至安全水平,螺孔边缘与产品边缘的距离必须大于螺孔直径的 3 倍。

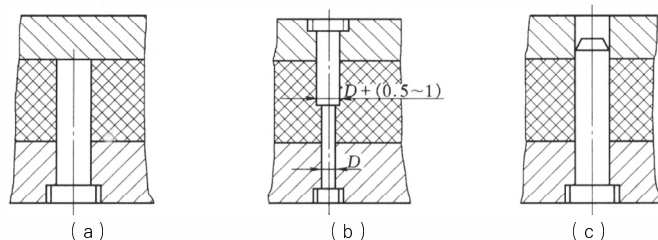


图 5-30 孔的三种成型方式

## 1. 穿孔

通常从生产与装配的角度出发，穿孔的应用比盲孔多，而且较盲孔容易生产。从模具设计的角度来看，穿孔的设计在结构上也较为合理，因为用来穿孔成型的边钉的两端均可受到支撑。穿孔的方法可以是靠单边边钉两端同时固定在模具上、或两根边钉相接而各有一端固定在模具上。一般来说，第一种方法被认为是较好的；应用第二种方法时，两条边钉的直径应稍有不同以避免因为两条边钉轴心稍有偏差而引致产品出现倒扣的情况，而且相接的两个端面必须磨平。穿孔设计比较如图 5-31 所示。

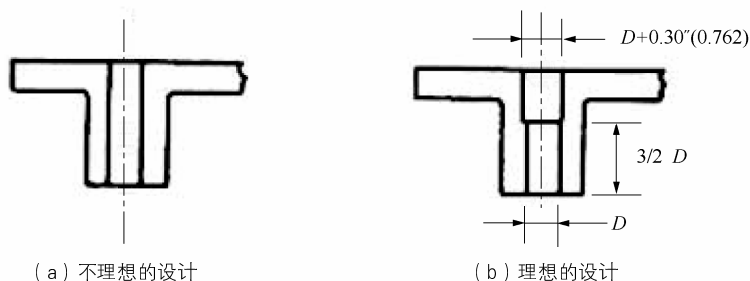


图 5-31 穿孔设计比较

## 2. 盲孔

盲孔是靠模具上的顶针形成的，而顶针在设计时只能单边支撑在模具上，因此很容易让熔融的塑料使其弯曲变形，使盲孔呈现椭圆的形状，所以，顶针的长度不能过长。一般来说，盲孔的深度只限于直径的 2 倍。如果盲孔的直径只有 1.5mm，其深度更不应大于直径的尺寸。盲孔设计比较如图 5-32 所示。

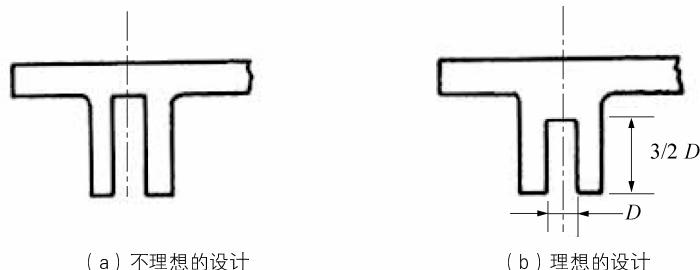


图 5-32 盲孔设计比较



在塑料件上开孔使其和其他部件相接合或增加产品功能上的组合是常用的方法，洞孔的大小及位置应尽量不会对产品的强度构成影响或增加生产的复杂性，通常孔的设计遵循如下原则。

(1) 孔的形状应尽量简单，一般取圆形。洞孔的边缘应预留最少 0.4mm 的直身位，通常都是采用自然倒角或者圆角的方式进行空边缘的优化，如图 5-33 所示。

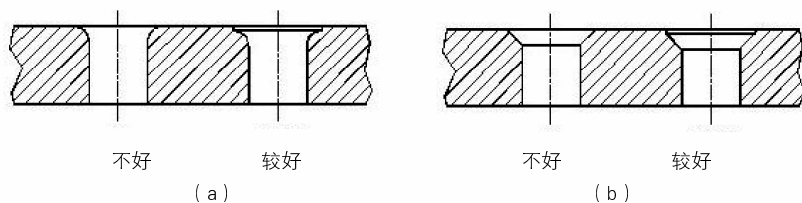


图 5-33 孔边缘的设计比较

(2) 孔的轴向和开模方向一致，可以避免抽芯。小角度倾斜孔、复杂型孔，则采用拼合型芯成型，避免用侧抽芯。复杂型孔的成型如图 5-34 所示。

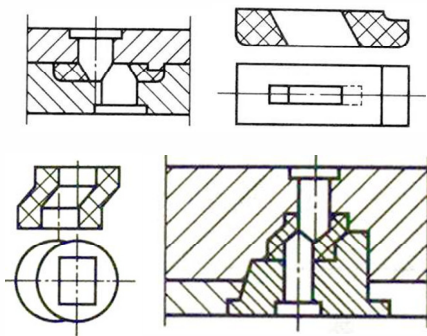


图 5-34 复杂型孔的成型

(3) 孔与孔的中心距应大于孔径（两者中的小孔）的 2 倍，孔中心至边缘的距离为孔径的 3 倍，热塑性和热固性塑料制品的孔心距、孔边距关系如 5-35 所示，参数值见表 5-4。

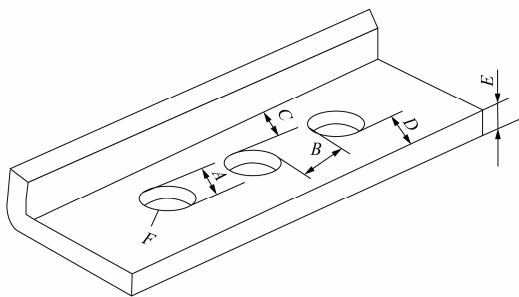


图 5-35 孔设计关系示意图

$A$ -孔径,  $B=A$ ,  $C=A$ ,  $D=2A$ ,  $E$ =壁厚,  $F$ =孔的最小直径 0.12mm

表 5-4 热固性材料孔心距、孔边距参数表

孔径/mm	孔边距/mm	孔心距/mm
<1.5	2.5	3.5
2.5	3.0	5.0
4.5	4.0	6.0
5.0	5.5	8.0
6.0	6.0	10.0
8.0	8.0	14.0
10.0	8.0	22.0
12.0	10.0	22.0

注：当两孔径不等时，按小孔孔径查表

- (4) 盲孔的长径比一般不超过 4mm，当孔的长径比大于 2 时，应设置脱模斜度。此时孔的直径应按小径尺寸（最大实体尺寸）计算。
- (5) 孔与产品外边缘的距离最好要大于 1.5 倍孔径，孔与孔之间的距离最好要大于 2 倍的孔径，以便产品有必要的强度。
- (6) 孔周边的壁厚要加大，其值比与之相装配件的外径大 20%~40%，以避免收缩应力所造成的不良影响。
- (7) 制品壁上的孔（孔轴线与开模方向相垂直），为避免侧向抽芯，可用如图 5-36 所示的侧壁凹槽代替。



图 5-36 孔的优化设计

- (8) 孔的成型尺寸参数见表 5-5、表 5-6。

表 5-5 孔径与孔深的关系参数表

孔的形式 成型方式		孔的深度	
		通孔	不通孔
压塑	横孔	2.5d	<1.5d
	竖孔	5d	<2.5d
注塑成型		10d	(4~5) d

注：1. d 为孔的直径；  
2. 所选择的塑料为纤维塑料时，表中的参数需要乘以 0.75 的系数

表 5-6 成型孔的极限尺寸参数表

成型方法	塑料名称	孔的最	最大孔深		最小孔
		小直径（mm）	不通孔	通孔	边厚度（mm）
热固性塑料 压制与压注	压塑粉	3	采用压制为 $2d$ 采用压注为 $4d$	采用压制为 $4d$ 采用压注为 $8d$	$d$
	纤维塑料	3.5			
	碎布塑料	4			
热塑性塑料 注塑成型	聚酰胺	0.2	$4d$	$10d$	$2d$
	聚乙烯				$2.5d$
	软聚氯乙烯				
	聚甲基丙 烯酸甲酯	0.25	$3d$	$8d$	$2d$
	硬聚氯乙烯				
	氯化聚醚	0.3			
	聚甲醛				
	聚苯醛				
	抗冲聚苯 乙烯				
	聚碳酸酯	0.35	$2d$	$5d$	$2.5d$
	聚矾				$2d$

5.1.5 侧孔设计

侧孔不同于普通孔，通常是指垂直于开模方向，或者与开模方向成一定角度的孔。在侧孔设计中需要考虑的是尽可能通过模具直接进行侧孔的成型，避免额外的钻孔工序，减低生产成本。但当需要成型的孔穴长而窄时（即孔穴的长度比深度为大），因更换折断或弯曲的顶针的额外成本较辅助的后钻孔工序高，此时，应考虑加上后钻孔工序。钻孔工序应配合使用钻孔夹具加快生产及提高品质，也可减少因折断钻嘴或经常研磨钻嘴的额外成本及时间；另一做法是在塑料成品上加上细而浅的定位孔以代替使用钻孔夹具。

在产品结构设计中，侧孔的出现往往增加模具设计与制造的困难，特别是当侧孔的方向与开模的方向成直角时，因为侧孔容易形成塑料产品上的倒扣部分。一般的方法是使用角针（Angle Pin）及活动侧模（Split Mould），因此，模具的结构较为复杂，模具的制造成本比较高。

侧孔若使用角针、活动侧模必然使模具的结构复杂且增加成本，此问题也可从增加侧孔壁位的角度或以两级的孔取代原来的侧孔实现。消除侧孔倒扣的方法如图 5-37 所示，3 种不同方式的侧孔倒扣消除与优化设计。

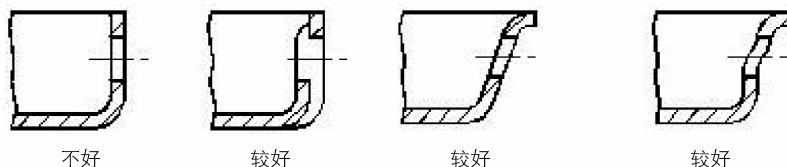


图 5-37 侧孔优化设计示意图

## 1. 侧凸凹

制品侧壁上局部的凸出或凹缺部分称为侧凸凹，侧凸凹不同于侧孔，侧凸凹通常是以非圆形出现，如图 5-38 所示。



图 5-38 侧凸凹设计示意图

侧凸凹制品在成型中存在如下问题。

- (1) 模具结构复杂，需采用对开式型腔、伸缩式型芯、侧向抽芯等结构。
- (2) 模具制造难度增加、成本加大，制造周期加长。
- (3) 制品注塑成型周期加长，生产成本增加。
- (4) 模具分型面缝隙溢料机会增多，制品飞边概率增大。

侧凸凹的设计与成型方法如下。

- (1) 制品形状成型准则，各部分都能顺利、简单地从成型模具中取出来，尽可能避免带有侧抽芯机构成型的侧凸凹形状。
- (2) 优化产品结构，消除制品侧凸凹的设计。
- (3) 采用拼合及活动型芯成型侧凸凹。
- (4) 弹性制品侧面凸凹的强制脱模，可利用塑料的弹性变形和凸凹深度尺寸不大的特点，强制性地使制品从模中脱出。
- (5) 侧面凸凹在成型后经组合得到，或采用机械加工方法加工而成。

## 5.1.6 扣位设计

扣位设计也称卡扣设计，如图 5-39 所示，是部件组合、连接的一种结构形式。扣位提供了一种不但方便快捷而且经济的产品装配方法，因为扣位的组合部分在生产成品的时候同时成型，装配时不需要配合其他如螺钉等紧锁配件，只需要组合的两边扣位互相配合扣上即可。

扣位不但提供一种简单及快捷的装配模式，更是一种低成本而可靠性的紧接技术。卡扣连接方式与螺纹连接方式的比较见表 5-7。

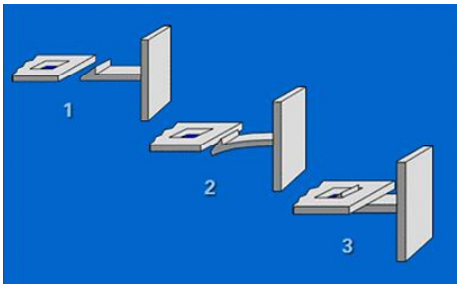


图 5-39 卡扣设计

表 5-7 卡扣与螺纹连接方式比较表

螺纹连接的优缺点	卡扣连接的优缺点
空间适用性强	装配时间短
装配后可以根据需要进行调整	装配附件少，基本不存在附件（螺钉、螺母、垫圈）
连接件的强度与被连接件的材料无关	组合部分外观整齐、统一
零部件配合面简单且初始设计成本较低	可实现无松动与永久性连接
零部件加工容易	无装配工具成本
适用于小批量生产	可提供直观的装配反馈
零部件成本低	零部件结构复杂，单个零件成本较高
维修拆卸直观	开发费用较高
锁紧力会使塑料件受损	尺寸精度要求严格
每个紧固部件都需要多达三个附件（螺钉、螺母、垫圈）	装配后不可调整
装配时间较长	锁紧件强度受基体材料强度的限制
装配辅助工具成本	不可见的卡扣将会难以拆卸
组合部分无法达到统一的视觉感受	—
螺纹在装配过程中容易滑丝	—
—	—

### 1. 应用范围与原理

扣位的应用非常广泛，环形的扣位常见于杯子盖、食物盒的顶盖。长形的扣位则应用于皮袋或背囊的开关部分。U 形的扣位亦普遍应用于电器用品、玩具的电池盒盖等。

扣位的设计根据不同的应用场合，分为不同的类型，但其使用原理大致相同。如图 5-40 所示，扣位的操作原理：当两个零件通过扣位进行配合时，其中一个零件的钩形伸出部分被相接零件的凸缘部分推开，直至凸缘部分完结为止。而后，由于塑料材料本身的弹性，使得钩形伸出部分即时复位，其卡扣的凹槽在配合时也将被相接零件的凸缘部分嵌入。

### 2. 卡扣类型

（1）按使用功能进行区分，扣位的设计可分为成永久型（不可拆卸卡扣）和可拆卸型两种。如图 5-41 所示，其中可拆卸式又分为直接可拆卸卡扣与需要借用外力进行拆卸的卡扣。

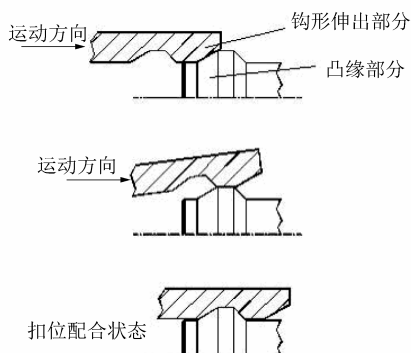


图 5-40 扣位的操作原理示意图

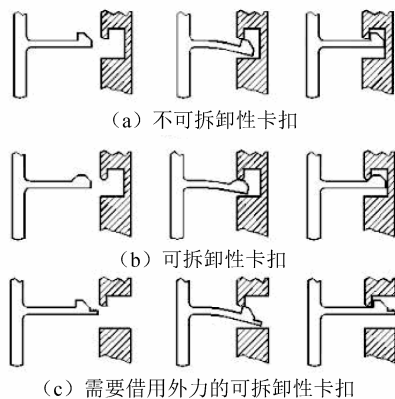


图 5-41 卡扣类型

永久型扣位的设计其优点是组装方便，但其缺点是不容易拆卸与重新组装。永久型的扣位在设计中只有导入角而没有导出角的设计，因此一经扣上，相接部分即形成自锁状态，不容易拆下。

可拆卸型扣位的设计则在组装与拆卸方面都十分便捷，其原理是可拆卸型扣位的钩形伸出部分，在设计时就附有适当的导入角及导出角，以方便组装与拆卸的操作，而扣位上导入角与导出角的大小直接决定着扣上及分离时所需的操作力度。扣位原理图如图 5-42 所示。

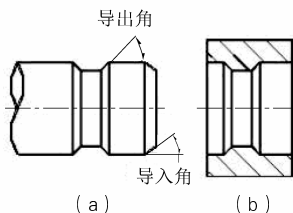


图 5-42 扣位原理图

(2) 按形状进行区分，扣位的设计基本可分为单边扣、环形扣、旋转扣、球形扣等，如图 5-43 所示。

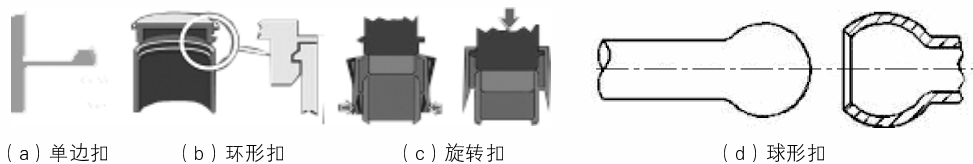


图 5-43 扣位的形状类型

除以上常用的卡扣类型之外，还有一些其他形式的卡扣，其中包括三瓣爪卡扣、冬菇头卡扣等，如图 5-44 所示。



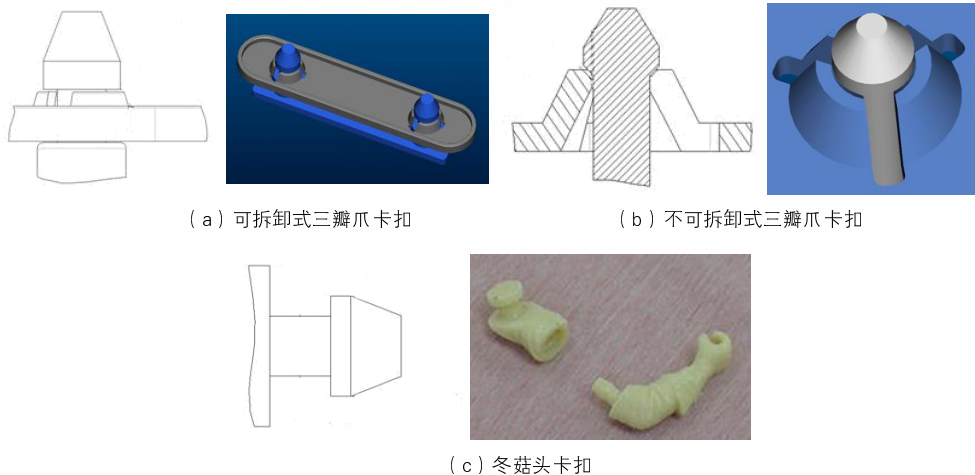


图 5-44 特殊卡扣类型

### 3. 扣位设计

扣位的设计通常采用悬梁式，悬梁式的延伸就是单边扣、环形扣或球形扣。悬梁式的设计原理就是利用塑料材料本身的挠曲变形特性，经过弹性恢复返回原来的形状。扣位的设计需要根据装配时的受力情况、装配后应力集中的渐变行为以及塑料的特性进行考虑，再进行计算确定扣位的尺寸参数。在结构设计中扣位悬梁的切面通常是恒定的，在一些变形较大的情况下扣位悬梁的切面可采用渐变的方式，单边厚度可渐减至原来的一半，如图 5-45 所示。渐变切面的变形量通常比恒等切面的变形量高 60% 以上。



图 5-45 卡扣的优化设计

扣位设计的弱点是扣位的两个组合部分。扣脚（钩形）伸出部分及凸缘部分经多次重复使用后容易产生变形，甚至出现断裂。断裂后的扣位很难修补，并且导致部件或者产品损坏。为了减少在产品使用中由于扣位断裂而导致的产品损坏，通常在设计扣位时考虑多个扣位同时共用，使整体的装置不会因为个别扣位的损坏而致使产品损坏，从而增加产品的使用寿命，如图 5-46 所示。扣位结构设计所存在的另一弱点是扣位相关尺寸的公差要求十分严格，因此倒扣位置过多很容易在模具成型过程中出现扣位损坏。同时当倒扣位置过少时，装配位置难以控制致使组合部分出现松动的现象。

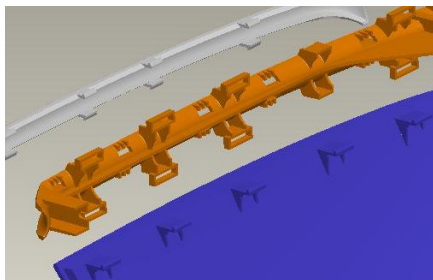


图 5-46 产品扣位设计

扣位设计时尽量避免卡扣扣脚的内凹现象。内凹形卡扣在产品设计中看上去很理想，但却给模具制造与注塑加工增加了难度，致使产品脱模难度增加。如图 5-47 (a) 所示，内凹扣脚设计需要通过模具的型芯增加滑块进行抽芯。而最为理想的设计则采用扣脚外凸的形式，如图 5-47 (b) 所示，也是成型工艺最为简单的方式。如果在产品结构设计中必须要采用扣脚的内凹设计时，我们可以在卡扣扣脚的位置的上方进行开口，以保证在不增加模具工艺的前提下又能顺利地得到内凹的扣脚，如图 5-47 (c) 所示。

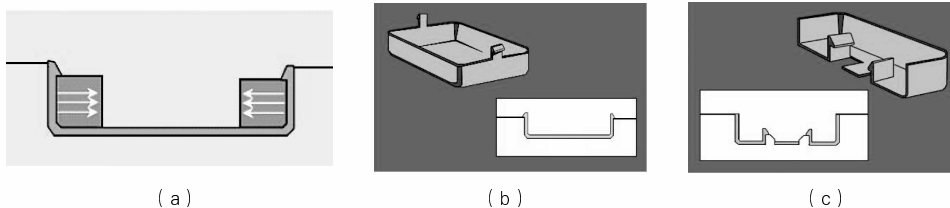


图 5-47 扣脚优化设计

止口不同于卡扣,指的是上壳与下壳之间的嵌合。设计的名义尺寸应留有 $0.05\sim 0.1\text{mm}$  的间隙,嵌合面应有 $1.5^\circ\sim 2^\circ$  的斜度。端部设倒角或圆角以利装入。上壳与下壳圆角的止口配合,应使配合内角的 $R$ 角偏大,以增大圆角之间的间隙,预防圆角处的干涉。止口的设计示意图如图 5-48 所示。

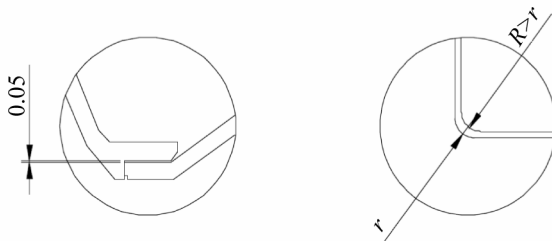


图 5-48 止口设计示意图

## 4. 扣位问题判定

(1) 零部件装配难;



- (2) 短期内功能件失效或损坏;
- (3) 长期内功能件失效或损坏;
- (4) 零部件变形或损坏;
- (5) 零部件使用松动;
- (6) 零部件使用时发出噪声;
- (7) 非人为的组合件分离;
- (8) 维修难操作;
- (9) 用户抱怨使用操作难;

当在产品的使用过程中出现以上情况时, 首先判定的是否是扣位出现问题。

## 5. 不同材料的设计要点

### (1) PA

在倒扣设计中, 为了保证成型质量, 得到倒扣效果的另外一种方式就是塑料材料的选择。选用柔软性好的材料, 在脱模时将倒扣的地方强顶出模具, 但通常要注意不要把倒扣的地方刮伤。以下是尼龙材料扣位的计算方式, 通常尼龙的百分比在 5% 左右, 脱模角度增大以及倒扣的地方距底部高时可达 10%, 如图 5-49 所示。

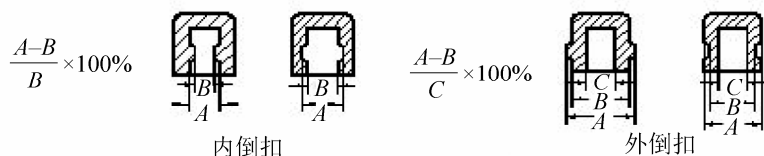


图 5-49 PA 材料扣位设计计算

### (2) PBT

扣位分为内扣与外扣, 外扣的可利用分模制成, 如图 5-50 (a) 所示。内扣则采用强变形方式或进行对碰, 如图 5-50 (b) 所示。内扣可利用公式计算扣位百分比, 一般在 6% 左右, 玻璃材料的充填约在 1% 左右, 如图 5-50 (c) 所示。

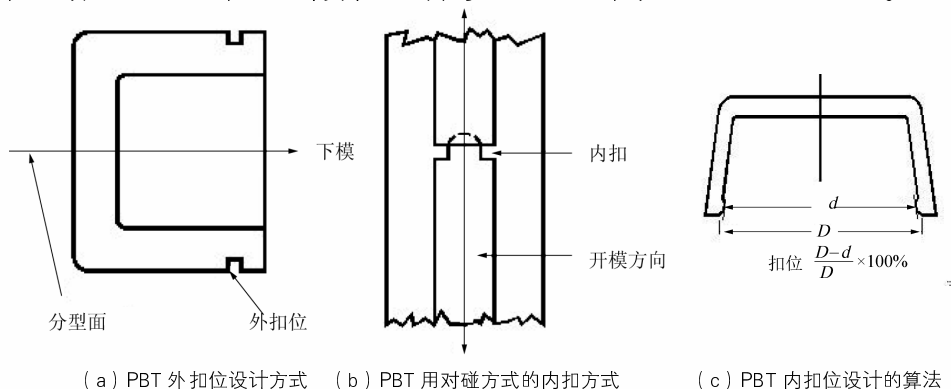


图 5-50 PBT 材料扣位设计计算

## (3) POM

扣位必须为弧形或转角弧度要大，使塑料成品容易滑过模具表面，并且减少脱落时应力集中的现象。内置扣位通常比外置扣位难脱模，因为塑料收缩时将模芯抓紧，外置式的就刚好相反而易于脱模。成型温度较高，使得成品在顶出模具时易于变形，POM 的扣位百分率可以比较大，可达 5%。计算公式如图 5-51 所示。

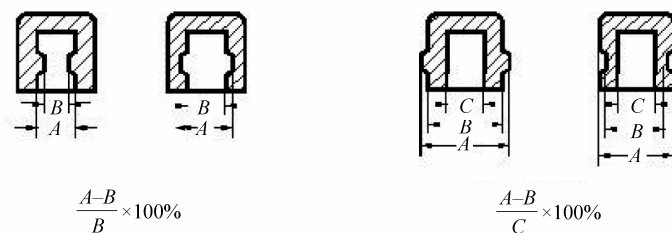


图 5-51 POM 材料扣位设计计算

## (4) PS

此材料的扣位的设计基本是不鼓励的，但由于设计上的需要，则模具上使用凸轮、模芯推出或其他装置以达成设计要求。

### 5.1.7 按键设计

按键是一种用于实现某一功能的控制操作机构，通常分为机械键、智能键、机械混合按键及薄膜键 4 种。其中，机械键与机械混合键的操作性能跟产品的结构设计有着直接的关系，按键结构的合理性决定着操作性能的稳定性、舒适性、可靠性。手机按键示例如图 5-52 所示。

在按键的结构设计中，间隙是一个必要的考虑因素。在按键设计过程中要注意按键与面壳键孔的间隙，以避免间隙过小所造成的卡位现象，同时也避免间隙过大所造成的松动现象。硅胶按键与悬臂梁按键如图 5-53 和图 5-54 所示。



图 5-52 手机按键示例

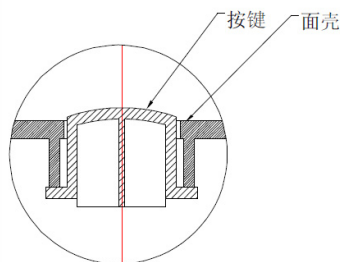


图 5-53 硅胶按键

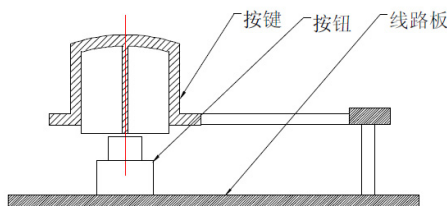


图 5-54 悬臂梁按键

## 1. 机械混合 (P + R) 按键设计也称硅胶按键设计

P + R 按键在生产中, 主要是通过自动点胶机将按键帽和胶盘粘接在一起, 按键帽材料通常采用 PC/ABS/PMMA, 如图 5-55 所示, 其结构关系如图 5-56 所示。



图 5-55 硅胶键

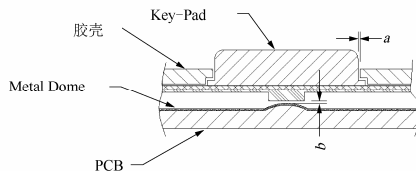


图 5-56 P+R 按键结构示意图

在图 5-56 所示的 Key pad 和 Metal Dome 之间的距离是一个很重要的参数, 此间隙过大会使按键松动, 过紧会影响手感甚至无法操作。而另一个重要的参数是按键到胶壳边的间隙  $a$ , 此间隙过大会影响外观, 手感不好, 太小会影响手感。其中尺寸  $a$  的范围为  $0.05 \sim 0.25\text{mm}$ , 建议采用  $0.15 \sim 0.2\text{mm}$ 。

另外, Metal Dome 与主板需要有定位孔进行定位, 粘合前的防尘工作非常重要, 否则因主板上的细小灰尘而导致按键重按或者无功能。按键的定位孔离按键电镀部分的距离应大于  $2\text{mm}$ , 否则做环境测试时易击穿。

硅胶按键是最先出现的按键类型, 早期多用于直板手机的操作键中。因其设计简单、成本低、手感好, 是一种主流的按键。硅胶按键结构设计示意图如图 5-57 所示。

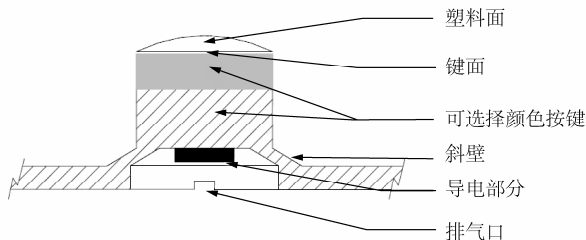



图 5-57 硅胶按键结构设计示意图

按键设计时要注意按键与面壳按键孔的配合间隙，一般来说，如果按键采用硅胶按键，则按键与面壳键孔的间隙为 0.2~0.3mm。如按键表面需要处理则要考虑各种表面处理对间隙的影响。水镀（电镀）镀层厚度一般为 0.1mm，喷涂和真空镀一般为 0.05mm。而在按键的设计应用中，如考虑按键表面需进行丝印等处理时，按键表面圆弧不宜过大，弧形高度不大于 0.5mm。为避免按键在操作过程中所出现卡位现象，通常需要对按键顶部周边倒圆角处理。而其中按键的外形、尺寸、行程大小是影响与决定按键设计间隙大小的主要因素。通常情况下，外形简单、尺寸与行程小的，则配合间隙取值也小；外形复杂、尺寸与行程大的，则配合间隙取值也大。塑料按键与塑料键壳体配合之间的间隙值见表 5-8。

表 5-8 塑料按键与塑料键壳体配合间隙值表 (mm)

塑料按键的操作行程为 1.0mm 时						
尺寸 类型	1~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~
	0.10	0.10	0.12	0.15	0.30	—
	0.10	0.12	0.15	—	—	—
	0.10	0.12	0.15	0.18	0.20	—
	—	—	0.18	0.30	0.35	—
异形	—	0.15	0.20	—	—	—
塑料按键的操作行程为 1.5mm 时						
尺寸 类型	1~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~
	0.10	0.12	0.14	0.16	—	—
	0.12	0.14	0.16	—	—	—
	0.12	0.14	0.16	—	—	—
多边形	—	—	0.20	0.30	—	—
异形	—	0.16	0.20	—	—	—
塑胶按键的操作行程为 2.0mm 时						
尺寸 类型	1~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~
	0.10	0.12	0.14	0.16	—	—
	0.12	0.16	0.18	—	—	—



续表

塑胶按键的操作行程为2.0mm 时						
尺寸 类型	1~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~
	0.12	0.16	0.18	—	—	—
	—	—	0.25	0.35	—	—
异形	—	0.18	0.22	—	—	—

注：以上间隙为硅胶按键与塑料壳之间的单边配合间隙。

硅胶按键结构设计功能要求主要包括以下 4 个方面。

- (1) 按键操作时能达到设定的功能要求。
- (2) 取消外力后，按键能自动并完全的复位。
- (3) 按键在操作与复位过程中有良好的手感，操作过程中无阻、滞、涩的触感。
- (4) 在对按键的边缘进行操作时，也能达到同样的效果。

对于硅胶键与塑料壳体的配合，一般需要遵循的规则见表 5-9。

表 5-9 硅胶键与塑料壳体配合的设计规则

	<p><math>A</math>、<math>B</math>：塑料按键孔的尺寸；</p> <p><math>a</math>、<math>b</math>：硅胶键按键的尺寸；</p> <p>最佳比例为 <math>A-a \geq 0.3\text{mm}</math>，<math>B-b \geq 0.2\text{mm}</math></p>
	<p><math>R</math>：塑料按键孔的圆角半径尺寸；</p> <p><math>r</math>：硅胶键按键的圆角半径尺寸；</p> <p>最佳比例为 <math>1\text{mm} \leq R \leq 1.25\text{mm}</math>，<math>0.75\text{mm} \leq r \leq 1\text{mm}</math></p>
	<p><math>H</math>：按键露出塑料壳体的高度尺寸；</p> <p><math>S</math>：按键的操作行程尺寸；</p> <p>最佳比例为 <math>H-S \geq 0.5\text{mm}</math></p>
	<p><math>D</math>：按键尺寸；</p> <p><math>d</math>：导电部位尺寸；</p> <p>最佳比例为 <math>D-d = 1.5 \sim 2.0\text{mm}</math></p>
	<p><math>P</math>：小柱尺寸；</p> <p><math>t</math>：小柱与导电件之间的最大距离尺寸；</p> <p><math>P</math> 的最佳尺寸为 <math>1.0\text{mm}</math>，<math>t</math> 的最佳尺寸为 <math>0.1 \sim 0.15\text{mm}</math></p>
	<p><math>F_c</math>：接触点动作力；</p> <p><math>F_c</math> 的最佳数据为 <math>F_1-F_2 &gt; 0.25\text{N}</math></p>

### 2. PC (IMD) 按键设计

PC (IMD) 按键是在 PC/ABS 注塑成型后再在表面覆一层 PC/PET 薄膜, 属于 IMD 工艺, 其表面非常耐磨, 但因与 Metal Dome 接触的点的硬度高故其手感不佳, 不良率比较高。如图 5-58 所示, 其中 PET 薄膜厚度可作薄至 0.06mm。

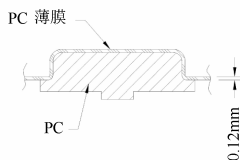


图 5-58 PC (IMD) 按键结构示意图

### 3. 薄膜键设计

薄膜键 (薄膜开关、薄膜面板) 是近年来国际流行的一种集装饰性与功能性为一体的电子整机产品的操作系统, 已成为我国电子产品升级换代不可缺少的配套部件, 薄膜开关结构示意图如图 5-59 所示。



图 5-59 薄膜开关结构示意图

薄膜开关、面板集开关按键、面板功能文字、标记、商标、透明窗及显示于一体, 并且采用多层整体密封结构。因此它具有耐摩擦、防水、防尘、防有害气体、寿命长、性能稳定等特点。此外, 其还有方便清洁, 字符不受损伤, 色彩丰富、保新性好, 安装方便。不仅如此, 薄膜开关、面板的应用, 更能充分体现产品功能与色彩独具匠心的构思, 以提高产品的外观质量和增加产品的时代气息。

薄膜开关、面板已广泛用于智能化电子测量仪器、医疗仪器、数控机床、通信设备、电子游戏机等各类工业及家用电器产品。

薄膜开关装置有许多不同形式和结构的按键, 按键的基本性能例如行程、操作力和机械寿命主要由按键类型和材料决定。薄膜开关包括单片线路开关和双片线路开关。通常, 薄膜开关上的按键只是用色彩来表达键体的位置、形状和大小。这样





只能凭操作者的视觉来识别操作的准确性,由于没有适当的反馈信息表明手指是否按在了开关的有效范围,因而影响了操作速度。一种使开关键体微微凸起略高于面板,构成立体形状的薄膜开关解决了这一问题,称为立体键开关。立体键不仅能准确地给定键体的范围,提高辨认速度,使操作者的触觉比较敏感,同时还增进了产品外观的装饰效果。

开关可以按照特性分为下述三种主要触觉结构。

(1) 金属弹片按键: 金属弹片按键采用成型的金属弹片,布置在开关结构的内部。弹片上带有按钮接头,用于形成电气回路。

优点: ①此结构具有良好的触觉性能;

②高温状态下使用寿命长。

缺点: ①用于柔软面板时,若面板在凸起区域弯曲则面板容易损坏;

②此结构最好用于印制电路板或刚性面板。

(2) 聚酯按键: 聚酯按键是在薄膜开关结构中的线路层轧出凸起的按键,此结构非常耐用,行程比金属弹片按键要小一些。在一些应用中,聚酯按键可以被轧到面膜层,此种方式可以减少薄膜开关的总层数。按键的操作力与材料厚度、按键直径和按键凸起高度有关。

优点: ①非常耐用;

②可以很好地使用数百万次。

缺点: 最大使用温度约为 50℃。

(3) 无感按键: 无手感开关没有触感,此种操作面板通常采用其他方式表示开关的动作状态。

优点: ①使用寿命长(可以使用上千万次);

②有效面积大;

③在所有的开关形式中价格最低。

缺点: ①没有手感;

②若面膜层有凸起,此时推荐不采用此种开关。

贴片薄膜开关是指在薄膜开关的基础上,广泛地应用贴片技术,使原来单一的开关增加了相应的控制器件,有效地减小空间,加大了薄膜开关的科技含量,使整机体积小型化、微型化、集成化,使薄膜开关的发展进入了一个新的领域。而从薄膜面板开关按键的类型进行划分,可以分为以下 5 类。

(1) 平面式无触感型。

(2) 胶片凸面式触感型。

(3) 金属弹片凸面触感型。

(4) 铭板圆顶式触感型。

(5) 加发光体薄膜开关。

在薄膜按键开关设计过程中需要考虑的主要性能参数见表 5-10。主要包括电子特性、机械特性及环境参数三个方面的性能参数。

表 5-10 薄膜按键开关性能参数

电子特性	电路等级:	35V (DC) , 100mA, 1W
	接触电阻:	10~500Ω (根据引线长度及所用材料的不同而变化)
	绝缘阻抗:	100MΩ, 100V
	介质耐压:	250V Rms (50~60Hz, 1min)
	触点抖动时间:	≤50ms
	使用寿命:	平面型 ≥500 万次 触感型 ≥100 万次
机械特性	操作压力:	平面型: 60~300g 触感型: 105~400g
	开关行程:	平面型: 0.1~0.5mm 触感型: 0.6~1.5mm
环境参数	操作温度:	-40℃~+80℃
	储存温度:	-40℃~+85℃
	湿 度:	40℃, 90%~95%, 240h
	振 动:	20G, s max. (10~200Hz, MIL-STD-202,M204,Condition B)

4. 机械键设计

机械键是最原始也是最普及的一种操作键设计，在生活中无处不在。正是由于这种无处不在，已经不仅仅停留于操作控制功能的实现，而是更侧重于使用操作的舒适性。机械键设计如图 5-60 所示。

机械键通常分为纯机械键与弹簧辅助操作键两种。其中纯机械键在设计过程中的塑料材料性能与操作键的机械结构特性尤为重要，纯机械键如图 5-61 所示。

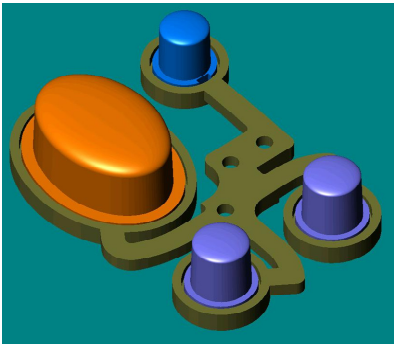


图 5-60 机械键设计示例

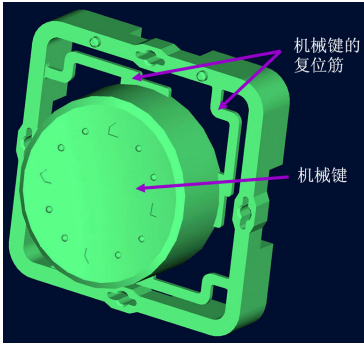


图 5-61 纯机械键示例

纯机械键的特点就是操作机构全部由塑料部件组成，其操作复位主要依靠复位筋来实现。因此机械结构的不合理将会导致按键的磨损加剧以及操作部位的断裂现象出现，而致使操作键损坏。而弹簧辅助操作键则较纯机械键设计难度降低，主要体现在键的操作部位由机械键与弹簧配合实现。其中操作与复位功能主要通过借助弹簧来实

现，直接降低了机械键的结构设计难度，但弹簧辅助操作键在设计过程中需要考虑的主要因素包括键与壳体的配合间隙、键与弹簧的配合、弹簧的弹性模量等。

### 5.1.8 滚花设计

滚花的设计是为了增强产品外观的美观性，以及操作的人机性，从而提高产品的表面效果与质量。滚花设计按其花纹形式可分为粗纹与细纹，其设计参数见表 5-11 所示。

#### 1. 滚花设计的目的

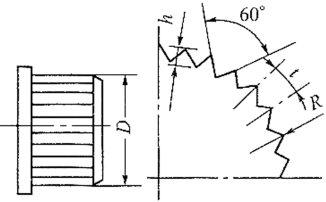
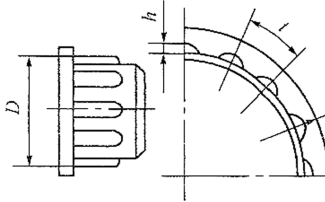
（1）为了增加零件组合间的黏接表面积及黏接可靠性，也可在黏接表面上作出细纹滚花。

（2）在塑料产品的表面作出凸凹纹、交叉纹、皮革纹、橘皮纹、木纹等，可遮掩成型过程中在制品表面上形成的疵点、丝痕、波纹等缺陷，增加美观，降低表面粗糙度的要求。

（3）在带有螺纹的瓶盖类制品外表面上作成花纹，既利于成型时止转，又便于在使用时增加摩擦系数以方便开启。

（4）在手柄、旋钮等制品的表面上，设置花纹及其他凸凹纹，可增大摩擦力，防止滑动。

表 5-11 粗纹与细纹滚花设计参数表 (mm)

粗纹滚花					细纹滚花			
								
直径 $D$	$\leq 18$	$>18\sim 50$	$>50\sim 80$	$>80\sim 120$	$\leq 18$	$>18\sim 50$	$>50\sim 80$	$>80\sim 120$
齿距 $t$	1.2~1.5	1.5~2.5	2.5~3.5	3.5~4.5	4R			
半径 $R$	0.2~0.3	0.3~0.5	0.5~0.7	0.7~1	0.3~1	0.5~4	1~5	2~6
齿高 $h$	$\approx 0.86t$				0.8R			

#### 2. 滚花设计的注意事项

- （1）花纹不得影响制品的脱模，且要求修整方便。
- （2）花纹应顺着脱模方向，并且沿着脱模方向有一定脱模斜度。
- （3）花纹的高度应大于 0.3mm，高度不超过其宽度。花纹不应太细，因为太细太深的沟槽模具加工难，成型及清理模具也难。
- （4）对用照相腐蚀等方法，在塑料制品的侧壁上得到装饰性花纹，如果花纹深度不大于 0.1mm，脱模斜度 $>4^{\circ}$  时，则制品成型后可直接强制脱模。花纹深度越深，所需脱模斜度越大。滚花设计标准见表 5-12。

表 5-12 滚花设计的尺寸标准

模数	$h$ (mm)	$r$ (mm)	$p$ (mm)
0.2	0.132	0.06	0.628
0.3	0.198	0.09	0.942
0.4	0.264	0.12	1.257
0.5	0.326	0.16	1.571
备注： $h$ 为滚花深度， $r$ 为滚花齿顶圆弧， $p$ 为节距，网纹滚花是滚花齿与轴线夹角 $30^\circ$ （另一方向齿是反 $30^\circ$ ），其他参数都相同。			

5.1.9 螺纹设计

螺纹的作用是给予紧固件支撑和传递载荷的能力。在设计和加工螺纹时，要考虑的几何特性和尺寸特性有超过 100 项。但是，通常需要掌握其中的 30 项左右，就能基本掌握各种螺纹并了解其性能。螺纹通常是指在内、外圆柱体表面上以螺旋线形式制出沟槽或在内、外圆锥面上按锥螺旋线形式制出的沟槽而形成的具有均匀截面的凸起。在圆柱体上的螺纹称作直螺纹或圆柱螺纹，在圆锥体或圆锥截体上的螺纹称作圆锥螺纹。外螺纹指螺栓、螺钉和螺柱的螺纹，内螺纹主要指螺母和自攻孔内的螺纹。塑料螺纹成型的加工方法见表 5-13。

表 5-13 塑料螺纹成型的加工方法

加工方法	特 点
丝锥	由于塑料材料的弹性较大，通常要求丝锥的直径比螺纹的直径大 0.05mm。分为手工攻丝与机械加工攻丝。通常只用于粗牙标准螺纹的成型，其螺纹直径为 2~52mm
螺纹圆板牙	通常只用于粗牙标准螺纹的成型，其螺纹直径为 4~52mm 之间
铣削加工	通常是采用螺纹铣刀在铣床上铣削加工外螺纹的方式
车削加工	通常是采用螺纹车刀在车床上车削加工标准、方形、梯形等内、外螺纹的加工方式，适用于加工大螺距及高精度螺距的螺纹
成型螺纹	采用塑料模具，利用模具中的螺纹型芯与螺纹型环，一次成型后所获得的螺纹方式，适合于大批量及精度要求不高的螺纹
螺纹嵌入	将金属螺纹置于成型的塑料模具型腔中，使之通过成型与塑料制品形成一体

1. 螺纹的分类

塑料产品上所设计螺纹一般用于静态连接使用，螺纹的成型方法通常分为 4 类。

- （1）用自攻丝攻出螺纹。
- （2）模塑法成型螺纹，包括使用带内螺纹的金属嵌件成型。
- （3）模塑后将带螺纹的嵌件压制。
- （4）切削加工。

塑料产品上所设计螺纹根据螺纹的齿形方式进行分类，通常可以分为 5 类：矩形螺纹；梯形螺纹；锯齿螺纹；三角形螺纹；圆形螺纹。



此外，塑料产品上所设计螺纹还有单头、双头、三头以及连续性等螺纹的区分。螺纹轴向截面内的螺纹结构称作螺纹牙型（轮廓），它由牙顶、牙底和牙侧三部分组成。螺纹牙顶在牙的顶部，牙底在底部，牙侧连接牙顶和牙底。原始三角形是指螺纹牙侧面经延伸在牙顶和牙底形成尖V型后所构成的三角形。原始三角形高度（ $H$ ）是指牙顶尖到牙底尖的径向测量距离。对于统一螺纹， $H$ 为螺距乘以0.866025。 $H$ 的主要作用是用于计算螺纹设计参数。螺纹的基本牙型示意图如图5-62所示。

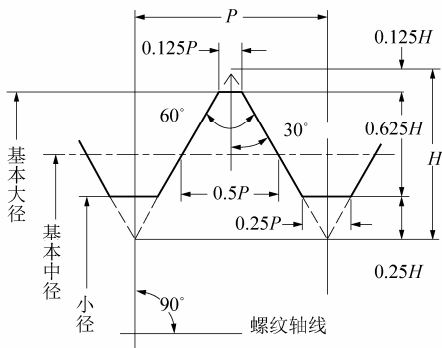


图 5-62 螺纹基本牙型示意图

牙顶和牙底都符合尺寸要求的螺纹为完整（全）螺纹。如果牙顶或牙底成型不完全，称为不完整螺纹。这种螺纹一般发生在螺纹紧固件的末端部和螺纹收尾处，或是在螺母和自攻孔的内倒角面上。UN 型外螺纹设计示意图如图5-63所示，UN 型内螺纹设计示意图如图5-64所示。

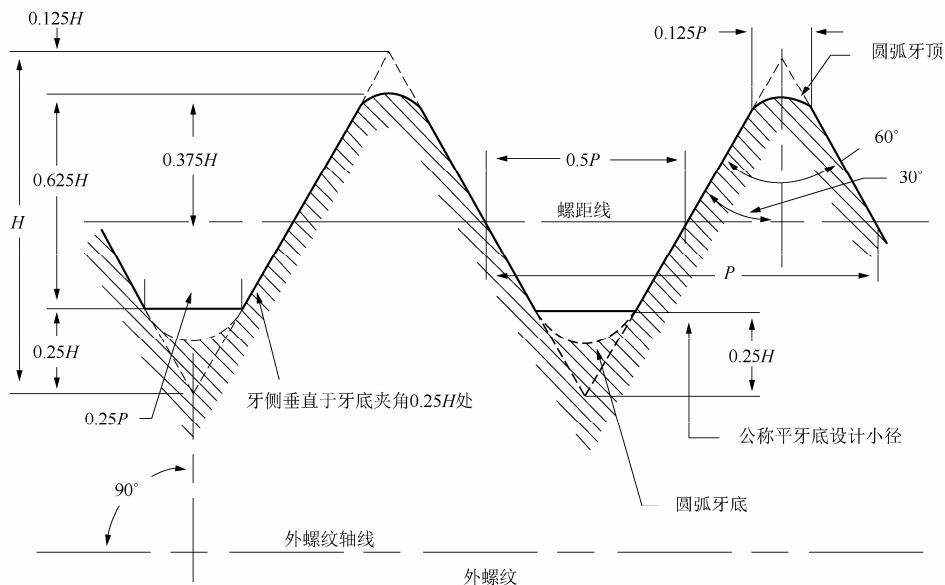


图 5-63 UN 型外螺纹设计示意图

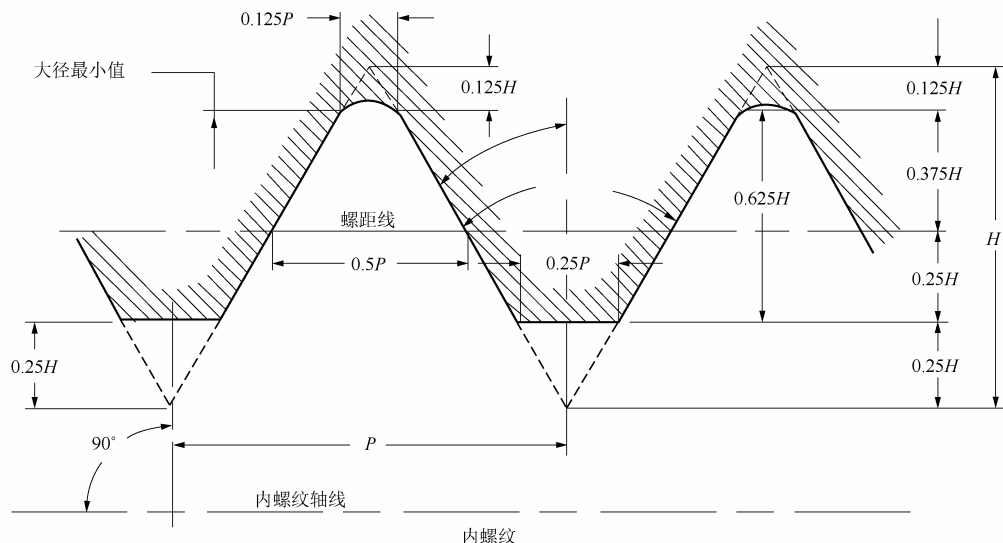


图 5-64 UN 型内螺纹设计示意图

**螺距：**螺距 ( $P$ ) 是指相邻牙对应两点间沿螺纹轴线的测量距离。统一螺纹是根据每厘米的牙数设计的，即每厘米长度内所出现的完整牙数。螺距是每厘米牙数的倒数。

**基本大径、小径：**对于外螺纹，是指牙顶处的直径称为大径，牙底处的直径称为小径。对于内螺纹则刚好相反，是指牙顶处的为小径，牙底处的为大径。

**牙侧角：**是指牙侧与垂直于螺纹轴线的夹角称为牙侧角。当两牙侧角的角度相同时，该螺纹为对称螺纹（牙侧角称为牙型半角）。统一螺纹具有  $30^\circ$  牙侧角，而且是对称的，也称为  $60^\circ$  螺纹。

**中径：**中径是指牙厚与牙槽宽相等位置通过螺纹的理想圆柱的直径。对于理想螺纹，这两个宽度应该相等，均为螺距的一半。对于非理想螺纹，螺纹的实际中径（沿螺纹圆周或轴向任意位置处的测量值）会有变化，这种变化取决于螺纹牙型的实际偏差，此加工偏差要在允许的极限范围之内。因此在实际中，螺纹专家在中径的定义、测量和重要性方面可能会相互矛盾。但是在螺纹设计和计算中，加工工具和模具生产以及螺纹测量中，中径仍然是一个重要参数。“理想”中径是中径圆柱的产物，其轴线就是螺纹轴线。

螺纹基本牙型建立了内螺纹和外螺纹的绝对边界。无论内螺纹还是外螺纹，突破了这一边界就会存在潜在的干涉，螺纹可能旋合不良。正是基于这一基本牙型，通过增加基本偏差和公差，来得到螺纹的极限尺寸。

基本偏差产生了配合螺纹间的最小间隙（国际公差标准）。即当内、外螺纹加工至其最大实体牙型时，内、外螺纹之间肯定会有一定的间隙。对于紧固件，基本偏差通常用于外螺纹上，即大径、中径和小径的最大值由于基本偏差的存在而小于基本尺寸；内螺纹则是将最小直径的最大实体牙型作为基本尺寸。



**螺纹公差：**公差是指为方便加工而允许尺寸变化的规定值，是螺纹加工的最大与最小允许极限值之间的变动量。因此，对于外螺纹，其最大实体尺寸减去公差（向螺纹轴线方向移动）定义为其最小实体牙型尺寸。对于内螺纹，其最大实体尺寸加上公差（从螺纹轴线移开）定义为其最小实体尺寸。在螺纹配合过程中，基本偏差与公差的组合决定了螺纹的配合情况。配合间隙是匹配螺纹间松紧程度的量度，间隙配合可以始终确保装配后的自由转动。过盈配合需要特定的螺纹尺寸限制值以使装配后内、外螺纹间产生过盈力。

当外螺纹紧固件装配入内螺纹螺母或自攻孔时，完整螺纹的轴向接触距离为螺纹旋合长度。这些螺纹在径向上的接触距离称作螺纹的接触高度。螺纹旋合长度和接触高度都是计算螺纹强度的重要参数。

**螺纹系列：**是指几组彼此不同的直径的螺距组合，以特定直径系列和每厘米长度内的牙数来表示。对于紧固件，最常用的螺纹系列有统一粗牙、统一细牙和 8 牙系列。

**螺纹的强度：**即支持和传递载荷的能力。螺纹强度与三个应力区有关，即拉伸应力区、螺纹牙底区、螺纹剪切区。拉伸应力区是指通过螺纹的假定横截面，用于计算紧固件承受拉伸力的载荷。拉伸应力区等同于具有同一材料理论圆柱的横截面积，拉伸试验时，其机械性能承受等同的极限载荷。螺纹牙底区是指外螺纹小径处的截面积。螺纹牙底区用于计算横向剪切或扭转力表示的紧固件强度。螺纹剪切区（内、外螺纹）是指通过螺纹牙的有效面积，它与螺纹轴线平行，包括螺纹接触的整个长度。它承受剪切载荷，阻止螺纹脱扣。内螺纹的剪切面位于外螺纹的大径处，外螺纹的剪切面位于内螺纹的小径处。

## 2. 螺纹的设计要点

（1）螺纹的直径不宜过小，通常外螺纹应大于 4mm，内螺纹应大于 2mm，直径较小时应尽量避免使用细牙螺纹。

（2）模塑螺纹的螺距不小于 0.75mm，螺纹配合长度不大于 12mm，当塑料螺纹与金属螺纹配合时，其配合长度通常取螺纹直径的 1.5 倍。

（3）螺纹的起始端和末端都应设计一段无螺纹的过渡段。

（4）塑件螺纹孔到边缘的距离应大于螺纹外径的 1.5 倍，且应大于塑件壁厚的 1/2。螺纹孔间距离应大于螺纹外径的 0.75 倍，且应大于塑件壁厚 1/2。

（5）尽量采用公制标准螺纹。

（6）螺纹配合间隙因直径不同而变化，通常留 0.1~0.4mm 的间隙，用以补偿成型所产生的收缩率。

（7）在螺纹的设计阶段，为保证螺纹的顺利脱模，通常设计 1/15~1/25 度之间的脱模斜度。

（8）在螺纹的设计阶段，为保证螺纹顺利脱模，在螺纹的适当部位应设计止转部位，止转部位的形式通常有花纹、图案、内外方形、端面以及内外沟槽。

3. 各国常用螺纹及其代号

螺纹是应用非常广泛的紧固件，按螺距分为粗牙螺纹和细牙螺纹，按旋向分为左旋螺纹和右旋螺纹，按线数分为单线螺纹和多线螺纹，按用途可分为连接螺纹、传动螺纹和承载螺纹。下面列举一些国家的常用螺纹及其代号。

中国常用螺纹及代号见表 5-14。

表 5-14 中国常用螺纹及代号

名 称		标 准 号	代 号	标准示例	备 注
普通螺纹		GB/T192、193、196、 197—2003 GB/T15054.3~4—1994	M	M16(粗牙)、M16×1.5 (细牙)	牙型角 $\alpha=60^\circ$
矩形螺纹		无标准	方牙直径× 螺距	方形 40×7	
梯形螺纹		GB/T5796.1~5796.4—2005	Tr	Tr40×7	牙型角 $\alpha=30^\circ$
锯齿螺纹		GB/T13576.1~13576.4—2008	B		牙型角 $\alpha=3^\circ/30^\circ$
管 螺 纹	管连接用细牙普通螺纹	同普通螺纹	M	M20×1.5	牙型角 $\alpha=60^\circ$
	非螺纹密封的管螺纹	GB/T7307—2001	G	G3/4-LH-左旋(右旋 不标)	牙型角 $\alpha=55^\circ$
	用螺纹密封的锥管螺纹	GB/T7306.1~7306.2—2000	R	R3/4	牙型角 $\alpha=5^\circ$ (老代号为 ZE)
60°圆锥管螺纹		GB/T12716—2002	NPT	NPT3/4	牙型角 $\alpha=60^\circ$
米制锥管螺纹		GB/T1415—2008	ZM	ZM10——标准基距 Zm10-S——短基距	牙型角 $\alpha=60^\circ$

英国标准螺纹及代号见表 5-15。

表 5-15 英国标准螺纹及代号

名 称	标 准 号	代 号	标准示例	备 注
惠氏标准螺纹	BS84—1956	BSW——粗牙 BSF——细牙	3/8"BSW-6 牙/in. 3/8BSF-20 牙/in.	牙型角 $\alpha=55^\circ$
英国 BA 螺纹	BS93—1951	0~12		牙型角 $\alpha=47.5^\circ$

美国标准螺纹及代号见表 5-16。

表 5-16 美国标准螺纹及代号

标 准 号	代号及示例	牙 型 角
ASA-BI-I—1949	分四类：粗牙(UNC, NC) 细牙(UNF, NF) 特细牙(UNEF, NEF) 特种牙(8N, 12N, 18N)——以每英寸牙数命名	$\alpha=60^\circ$
ANSIBI-I—1982	UN UNR(牙底为圆弧)	$\alpha=60^\circ$
55 英制惠氏螺纹	1"以下每英寸牙数与英国惠氏螺纹相同，1/2"为 13 牙，1"及 1"以上每英寸牙数均为 8 牙，没有 1/8"、3/16"、5/16"、7/16"、9/16"、11/16"等规格 NPTF 密封锥管螺纹，如 NPTF1/8-27 牙	$\alpha=55^\circ$



续表

标 准 号	代号及示例	牙 型 角
ANSIBI-20-4—1976	NPT, NPTC, NPTR	$\alpha=60^{\circ}$
USASB2-2—1968	NPTF, PTFSAE	$\alpha=60^{\circ}$
USASB2-2—1968	米制螺纹 B1-13M	$\alpha=60^{\circ}$
ANSIB-1-1974 B18-3-1—1978		$\alpha=60^{\circ}$

日本标准螺纹及代号见表 5-17。

表 5-17 日本标准螺纹及代号

名 称		代 号	标准示例	标 准 号
通用螺纹	粗牙普通螺纹	M	M16	JISB0205
	细牙普通螺纹	M	M16×1.5	JISB0207
	粗牙惠氏螺纹	UNC	3/8-16UNC	JISB0206
	细牙惠氏螺纹	UNF	NO.8-36UNF	JISB0208
	30°梯形螺纹	TM	TM20	JISB0221
	29°梯形螺纹	TM	M20	JISB0222
	55°密封管螺纹	锥螺纹	PT3/4	JISB0203
		柱螺纹	PS3/4	
	55°非密封管螺纹	PF	PF1/2	JISB0202
专用螺纹	电线套管用螺纹	C	C15	JISB0204
	自行四用螺纹通用辐条用	BC	BC3/4 BC2.6	JISB0225
	缝纫机用螺纹	SM	SM1/4 牙 40	JISB0226
	灯口螺纹	E	E10	JISB7709
	汽车轮胎汽门螺纹	TV	TV8	JISB4208
	自行车轮胎汽门螺纹	CTV	CTV8 牙 30	JISB9422

### 5.1.10 公差设计

公差的早期观念是以支持设计者的功能需求为主导，为满足客户对于产品的功能需要而产生的技术行为。随着生产技术的不断提高以及生活水平的不断提高，消费者对于产品品质的要求越来越高，同时因为模块化制造与精益生产概念的提出，逐渐使得公差的概念由技术行为转换为产品量产互换性的设计支持，主要用于保障和管理产品零部件之间的通用性。公差示意图如图 5-65 所示。

公差设计（Tolerance Design）应在使用要求及加工能力的约束下以成本最低作为目标。此成本是包含了产品生命期中多项成本因素的综合成本，其中包括制造成本、质量损失成本、废次品损失成本、库存成本及机会损失成本等。制造成本是指产品在制造过程中发生的各种损耗的总和，是各种成本因素中最直接、最必不可少的成本因素。在很多情况下，设计师手中并未掌握有效的成本信息，其设计公差仅仅是从满足使用要求的角度来考虑的。任何设计均要通过制造过程来实现，在该过程中必然要造成成本损耗，而成本的多少作为反馈信息将促使设计师调整其设计方案。通过多次实践调整最终达到以成本最低为目标的最优设计方案。显然，这种优化过程必然是以大量的成本浪费作为代价的。

公差设计通常是在完成系统设计和参数设计后进行的，此时，各元件（参数）的质量等级较低，参数波动范围较宽。公差设计的输出结果就是在参数设计阶段确定的最佳条件基础上，确定各个参数合适的公差。公差的等级要求越高，则相对应的产品制造成本越高，其关系如图 5-66 所示。

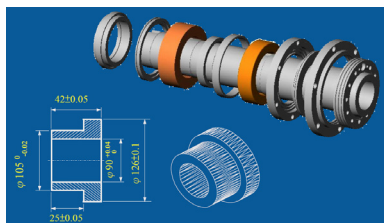


图 5-65 公差示意图

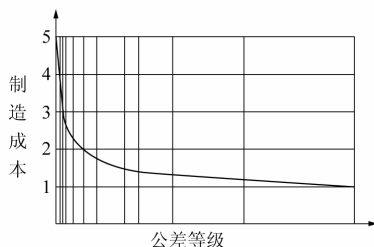


图 5-66 公差与成本关系示意图

按照一般原理，每一层次的产品（系统、子系统、设备、部件、零件），尤其交付顾客的最终产品都应尽可能减少质量波动，缩小公差，以提高产品质量，增强顾客满意度；但同时，每一层次产品也应具有很强的承受各种干扰（包括加工误差）影响的能力，即应容许其下属零部件有较大的波动范围。对于下属零部件通过公差设计确定科学合理的公差，是生产制造阶段符合性控制的依据。

因此，公差设计的指导思想是，根据各参数的波动对产品质量特性贡献（影响）的大小，从技术的可实现性和经济性角度考虑有无必要对影响大的参数给予较小的公差（例如用较高质量等级的元件替代较低质量等级的元件）。

另外值得注意的是，三个设计的顺序并不是一成不变的。虽然公差设计的实施一般晚于参数设计，但有时为了获取总体最佳，公差设计也会影响参数设计的再实施。公差设计的实现途径很多，比较常见的有极值分析法（Worst Case）、统计平方公差法（Root-Sum-Squares）和模拟法（Simulation）三类。按照公差种类又可分为尺寸公差（Size Tolerance）、形状公差（Form Tolerance）和位置公差（Position or Location Tolerance）三类。而我们通常所指的公差为尺寸公差，形状与位置公差被称为几何公差。集合公差示意图如图 5-67 所示。

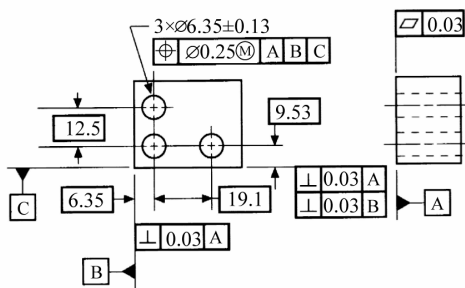


图 5-67 几何公差示意图

1. 公差的基本设计原则

大部分的塑料产品可以达到高精密配合的尺寸公差，而一些收缩率高及一些软性材料则比较难以控制。因此在产品设计过程时是要考虑到产品的使用环境、塑料材料、产品形状等来设定公差的严紧度。随着顾客的要求越来越高，以往的配合经验和观念也要修正过来。配合、精密和美观是要能够同时在产品上发挥出来的。

公差的精密度高，产品质量品质相对提高，但随之而来的是增加了成本和因达到要求而花费更多的时间。故公差的设定可以随不同塑料来制作标准，接下来介绍几种由塑料供应商提供的塑料公差设计要点，而设计的容许公差范围可在美国 SPI 规格中找到。

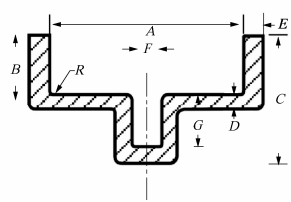
2. 不同材料的设计要点

(1) LCP

液晶共聚物成品容许公差随着设计的复杂程度和壁厚而定。薄壁的部分经常可以在液晶共聚物的产品上可找得到。而且液晶共聚物容许公差可是极小容许公差的50%。LCP 液晶高分子设计允许公差见表 5-18。

表 5-18 LCP 液晶高分子设计允许公差

绘图代码	允许误差范围 mm (in.)	商业化 (±) mm (in.)	精密 (±) mm (in.)
A=直径：见附注 (1) B=深度：见附注 (3) C=高：见附注 (3)	—	0.08 (0.003)	0.05 (0.002)
D=底面壁：见附注 (3)	—	0.10 (0.004)	0.08 (0.003)
E=侧壁：见附注 (4)	—	0.13 (0.005)	0.08 (0.003)
F=孔径大小：见附注 (1)	0~3 (0.000~0.125)	0.05 (0.002)	0.03 (0.001)
	3~6 (0.125~0.250)	0.08 (0.003)	0.05 (0.002)
	6~13 (0.250~0.500)	0.08 (0.003)	0.05 (0.002)
	13 及以上 (0.500 及以上)	0.13 (0.005)	0.08 (0.003)
G=孔深：见附注 (5)	0~6 (0.000~0.250)	0.10 (0.004)	0.05 (0.002)
	6~13 (0.250~0.500)	0.10 (0.004)	0.05 (0.003)
	13~25 (0.500~1.000)	0.10 (0.004)	0.05 (0.004)
每侧偏移的允许度：见附注 (5)	—	15~20°	0.2~0.5°



附注：

(1) 这些允许公差不包括材料退火特性的允许度；

(2) 依据 3.0mm (0.125in.) 等部分的允许公差；

(3) 接合线必须列入考虑；

(4) 塑件设计必须尽可能保证壁厚接近固定值；

(5) 核心洞孔的深度与它直径之间的比值不能达到平衡点时，将导致过度的穿孔损伤。

(以上资料由杜邦 Zenite 公司提供)

## (2) PET

PET 设计允许公差见表 5-19。

表 5-19 PET 的设计允许公差

绘图代码	允许误差范围 (in.)	标准公差 (±) (in.)
A=直径: 见附注 (1)、(2) B=深度: 见附注 (3) C=高度: 见附注 (3)	—	—
D=底面壁: 见附注 (3)	—	0.004
E=侧壁: 见附注 (4)	—	0.004
F=孔径大小: 见附注 1	0.000~0.125	0.002
	0.125~0.250	0.003
	0.250~0.500	0.003
	0.500 以上	0.004
G=孔深: 见附注 (4)	0.000~0.250	0.003
	0.250~0.500	0.004
	0.500~1.000	0.005
雕模斜度允许公差: 见附注 (6)	—	1/2~1°

附注:

- (1) 这些允许公差皆假定模温不低于 200°F (93℃)。如果在 300°F (150°F) 缓温的话, 则会使体积产生不大于 1% 的变化;
- (2) 允差是根据底部为 3.2mm 时而定;
- (3) 分模面必须予以考虑;
- (4) 零件的设计应使壁厚尽可能保持一致, 不过在此尺寸上要达到完全一致是不可能的;
- (5) 要注意不要让需要侧面轴心的孔的深度与直径之比过大以致使梢受到过度的伤害;
- (6) 只要能配合所需的设计以及优良的成型技术, 这些数值都可以提高。

(以上资料由杜邦 Zenite 公司提供)

## (3) POM

POM 精密公差标准见表 5-20。

表 5-20 POM 精密公差标准 (mm)

		精 密	标 准	粗 略
外部高度 <i>D</i>	单模腔 <i>D</i> =0~25	0.05	0.1	0.15
	多模腔 <i>D</i> =0~25	0.05	0.13	0.18
	<i>D</i> 大于 25, 每 1mm 公差增量	0.002	0.003	0.004
侧壁厚度 <i>F</i> 当 <i>F</i> =0~6	当 <i>C</i> =0~25	0.05	0.08	0.1
	<i>C</i> 大于 25 时, 每加 1mm 的公差增量	0.001	0.002	0.003
底壁厚度 <i>E</i>	<i>E</i> =0~2.5	0.05	0.1	0.15
	<i>E</i> =2.5~5.0	0.1	0.13	0.18
	<i>E</i> =5.0~7.5	0.15	0.18	0.2

### 5.1.11 嵌入件设计

#### 1. 嵌入件设计原则

塑料产品的嵌入件通常作为紧固件或支撑部分，以弥补塑料材料的不足。此外，当塑料产品在设计上考虑简便、更换容易或重复使用等要求时，嵌入件通常作为一种装配形式存在。但无论是作为功能或装饰用途，嵌入件的使用应尽量减少，因使用嵌入件需要额外的工序配合，增加生产成本。塑料产品的嵌入件通常是金属材料，其中以钢板与铜为主要材料。

塑件中镶入嵌件的目的是为了增加塑料制品的局部强度、硬度、耐磨、导磁、导电性能，加强塑件尺寸精度和形状的稳定性的作用，起装饰作用等。为了在塑件内牢固嵌定而不致被拔脱，其表面必须加工成沟槽或滚花，或制成多种特殊形状。几种嵌入件的示意图如图 5-68 所示。

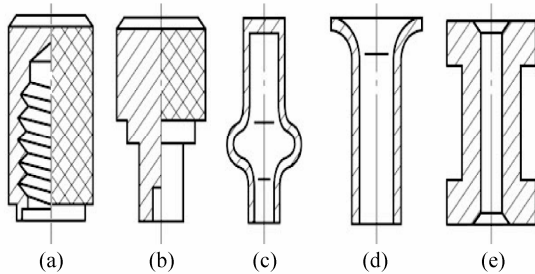


图 5-68 嵌入件示例

嵌入件的结构通常分为柱状、针杆状、片状和框架等形式，如图 5-69 所示。

嵌入件的设计必须使其稳固地嵌入塑料内，避免旋转或拉出。因此嵌入件的设计也不应附有尖角或锋利的边缘，因为尖角或锋利的边缘会使塑料件出现应力集中的情况。嵌入件的成型方式通常分为同步成型嵌入和成型后嵌入两种，具体如下。

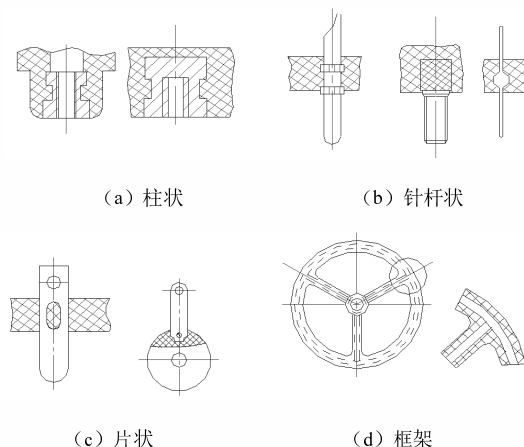


图 5-69 嵌入件的结构形式

## (1) 同步成型嵌入

同步成型嵌入是在部件成型前将入件放入模具之中，在合模成型时塑料会将入件包围起来同时成型。若要使塑料把入件包合得好，必先预热后才放入模具。这样可减低塑料的内应力和收缩现象，如图 5-70 所示。

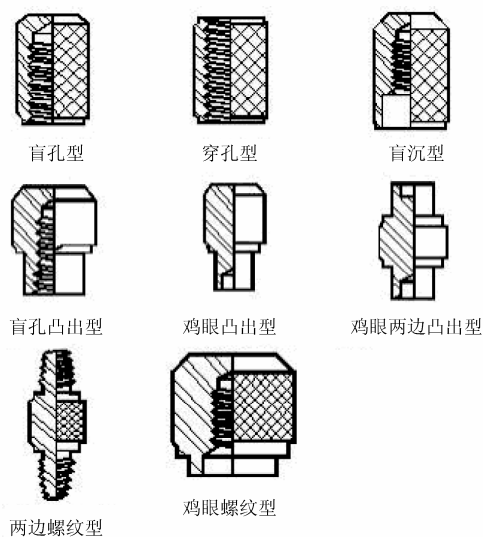


图 5-70 同步成型嵌入示意图

## (2) 成型后嵌入

成型后嵌入是将入件用不同方式打入成型部件之中。所采用的方法有热式和冷式，其原理都是利用塑料的热可塑特性。热式是将入件预先在嵌前加热至该塑料部件融化的温度，然后迅速地将入件压入部件上特别预留的孔中冷却后成型。冷式一



般是使用超声波焊接方法把入件压入。用超声波的方法所得到的制品比较一致和美观，而预热压入在工艺上要控制得好才有好的效果。否则出现入件歪斜、位置不正、塑料包含不均匀等现象形成坏品。正常情形下，入件是与塑料成品平面对齐或有些稍在平面之上以减少塑料内的应力，如图 5-71 所示。

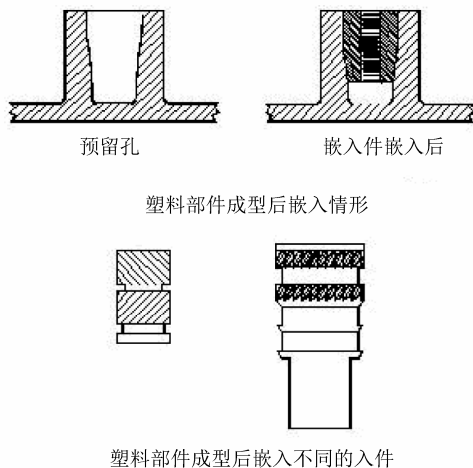
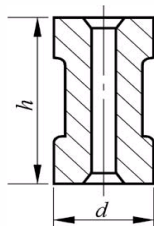


图 5-71 成型后嵌入示意图

金属嵌入件在设计时，需要遵循以下的设计原则。

- (1) 金属嵌件嵌入部分的周边应有倒角，以减少周围塑料冷却时产生的应力集中。
- (2) 嵌件设在塑件上的凸起部位时，嵌入深度应大于凸起部位的高度，以保证塑件的机械强度。
- (3) 内、外螺纹嵌件的高度应低于型腔的成型高度 0.05mm，以免压坏嵌件和模腔。
- (4) 外螺纹嵌件应在无螺纹部分与模具配合，否则熔融物料渗入螺纹部分。
- (5) 嵌件在模内的固定部分应采用三级精度间隙配合，以保证定位准确，防止溢料。
- (6) 嵌件高度不应超过其直径的两倍，高度应有公差，如图 5-72 所示。



嵌件的高度  $h \leq 2d$

图 5-72 嵌件高度公式

### 2. 不同材料的设计要点

#### (1) POM

POM 成型时,因塑料和嵌入件收缩比率不同而有应力产生,逐渐在嵌入件周围发生龟裂现象而使成品破裂,以下方法可改善成品破裂现象:用温度达  $90^{\circ}\text{C}$  左右的嵌入件放于模腔内成型,模具内温度达  $90^{\circ}\text{C}$  左右,嵌入件要洁净并避免有尖角或利边。

#### (2) PBT

嵌入件通常是用以装配方便或维修容易为目的的,但也有的是特殊用途如金属扣等。为了使嵌入件在塑料成品内降低应力 and 因不同物料的热膨胀系数产生的影响,嵌入件尽量不要有尖角,防止拔出和转动的凹槽要使用简单的设计,压花的花纹面积不要太大,压花的边要和嵌件边位远离,花纹的地方要放于隐藏处。嵌入件表面不能有任何不相容的化学药品如润滑油等,模具生产中是使用  $80\sim 110^{\circ}\text{C}$  的模温来降低成型后的内应力的。

### 5.1.12 拔模角设计

#### 1. 拔模角设计原则

拔模角设计也称拔模角、拔模斜度或者脱模斜度,是指在塑料产品成型中为顺利脱模,塑料制品壁在出模方向上应具有倾斜角度  $\alpha$ ,适当的脱模斜度可避免产品拉毛和产品顶伤,如图 5-73 所示。因此,塑料产品在结构设计过程中,通常会为了能够轻易地使产品由模具脱离出来而需要在边缘的内侧和外侧各设有一个倾斜角度。

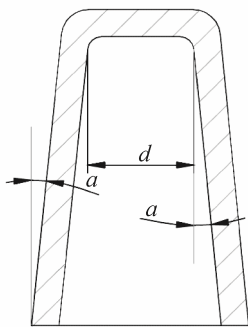


图 5-73 拔模角设计

当产品的边缘只存在垂直外壁,并且与模具的开模方向相同时,此时模具在塑料成型后需要很大的开模力才能使成型的制品从模具中脱落,造成制品脱模过程难度增加。若在产品设计的已预留拔模角,以及所有接触产品的模具零件在加工过程当中经过高度抛光,此时脱模就变成轻而易举的事情。因此,拔模角的考虑在产品设计的过程是不可或缺的。

因注塑件冷却收缩后大多附在凸模上,为使产品壁厚平均及防止产品在开模后附在较热的凸模上,拔模角对应于凹模及凸模的角度应该是相等的。但在特殊情况





下若然要求产品于开模后附在凹模上的话，可将相接凹模部分的拔模角尽量减小，或刻意在凹模加上适量的倒扣位。在实际的产品设计过程中，拔模角的大小没有一定的准则，多数是凭经验和依照产品的深度来确定。其中主要的参照因素是成型的方式、制品壁厚以及塑料材料。根据经验值得出，高度抛光的外壁可使用  $1/8^\circ$  或  $1/4^\circ$  的拔模角。深入或附有织纹的产品要求拔模角作相应增加，习惯上每  $0.025\text{mm}$  深的织纹，便需要额外  $1^\circ$  的拔模角。此外，当产品需要长而深的加强筋和较少的拔模角时，顶针的设计需有特别的处理。拔模角度、单边间隙与边位深度的关系如图 5-74 所示。

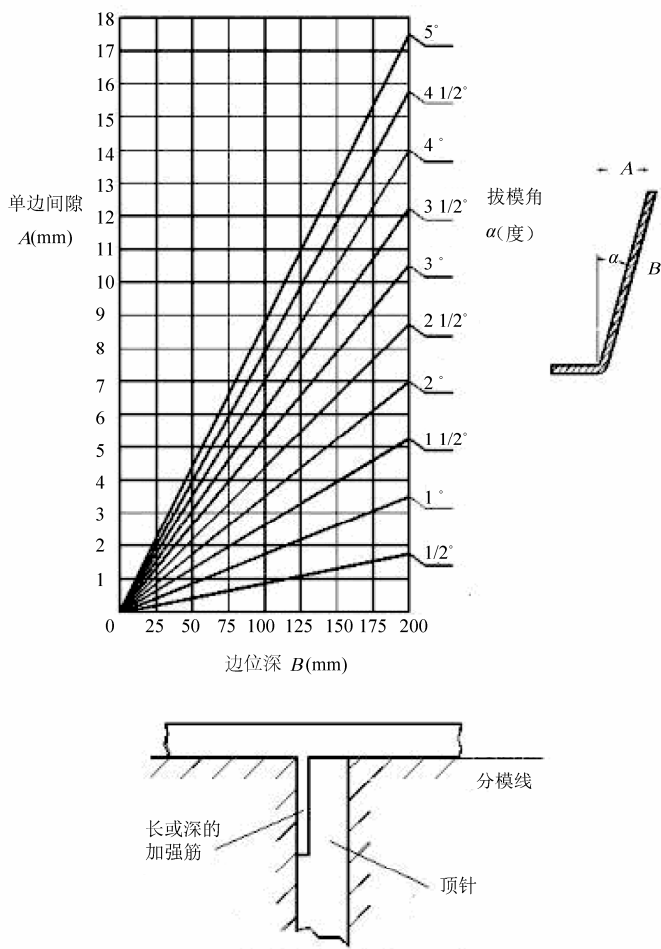


图 5-74 拔模角设计关系

为确保制件成型时能顺利脱模，设计时必须在脱模方向设置脱模斜度，对于工程塑料的结构件来说，一般应在保证顺利脱模的前提下，尽量减小脱模斜度。脱模斜度的确定通常需要遵循以下 10 个方面的要求。

(1) 制品精度要求越高,脱模斜度应越小。

(2) 尺寸较高、较大的制品,应采用较小的脱模斜度。

(3) 制品形状复杂不易脱模的,应选用较大的脱模斜度。

(4) 塑件的收缩率大的应选用较大的斜度值。

(5) 增强塑料宜选大斜度,含有自润滑剂的塑料可用小斜度。

(6) 塑件壁较厚时,会使成型收缩增大,脱模斜度应采用较大的数值。

(7) 斜度的方向。内孔以小端为准,满足图样尺寸要求,斜度向扩大方向取得;外形则以大端为准,满足图样要求,斜度向偏小方向取得。一般情况下脱模斜度可不受制品公差带的限制,高精度塑料制品的脱模斜度则应当在公差带内。

(8) 光滑表面的脱模斜度应大于  $0.5^{\circ}$ , 细皮纹表面大于  $1^{\circ}$ , 粗皮纹表面大于  $1.5^{\circ}$ 。

(9) 深腔结构产品设计时外表面斜度要求小于内表面斜度,以保证注塑时模具型芯不偏位,得到均匀的产品壁厚,并保证产品开口部位的材料密度和强度。

(10) 如果要求脱模后塑件保持在型芯的一边,那么塑件内表面的脱模斜度可选得比外表面小;反之,要求脱模后塑件留在型腔内,则塑件外表面的脱模斜度应小于内表面;但当内外表面要求不一致时,往往不能保证壁厚的均匀。

而通常造成脱模困难的原因主要包括以下三方面的原因:①模具内有凹槽;②脱模斜度不足;③模具表面太粗糙。

相对应的解决措施通常也有三种,分别为即时、短期与长期。①即时:下降射出压力,缩短保压时间,降低模具温度降低脱模速度,喷涂脱模剂;②短期:提高模具型腔的粗糙度;③长期:增大脱模斜度,增加脱模销的数目。

各种材料推荐的拔模斜度,具体参照表 5-21。由表中可以看出,塑料硬脆、刚性大的,脱模斜度要求大。但具备以下 4 个条件的型芯,可采用较小的脱模斜度。

(1) 顶出时制品刚度足够。

(2) 制品与模具钢材表面的摩擦系数较低。

(3) 型芯表面的粗糙度值小,抛光方向又与制品的脱模方向一致。

(4) 制品收缩量小,滑动摩擦力小。

具体拔模角度的确定可以参照表 5-22。



表 5-21 拔模斜度推荐表

材 料	拔模斜度 $\alpha$	
聚乙烯、聚丙烯、软聚氯乙烯	30'~1°	
ABS、尼龙、聚甲醛、氯化聚醚、聚苯醚、硬聚氯乙烯、聚碳酸酯、聚砒	40'~1°30'	
聚苯乙烯、有机玻璃	50'~2°	
热固性塑料	20'~1°	
特殊成型的最小拔模斜度推荐表		
成型条件	最小拔模斜度 $\alpha$	
	一般条件	特殊条件
常规成型	3°	2°
拔模斜度不能太大时	1/2°	1/4°
突出部位	5°	4°
格子、孔	5°	4°
皮革纹	6°	4°

表 5-22 拔模角标准表

Wall Thickness 平均料厚	Rib Thickness 骨厚	Height of Rib (x) 加强筋高度	Draft Angle ( $\alpha$ ) 拔模角
1.5mm	1.1~1.2mm	$x \leq 5\text{mm}$	1.0°~1.5°
		$5 < x \leq 10\text{mm}$	0.5°~0.8°
		$10 < x \leq 15\text{mm}$	0.5°
2mm	1.4~1.5mm	$x \leq 5\text{mm}$	1.0°~1.5°
		$5 < x \leq 10\text{mm}$	1.0°~1.5°
		$10 < x \leq 15\text{mm}$	0.5°~1.0°
		$15 < x \leq 20\text{mm}$	0.8°
		$20 < x \leq 25\text{mm}$	0.5°
		$25 < x \leq 30\text{mm}$	0.5°
2.5mm	1.8mm	$x \leq 5\text{mm}$	1.0°~1.5°
		$5 < x \leq 10\text{mm}$	0.5°~1.0°
		$10 < x \leq 15\text{mm}$	0.5°~1.0°
		$15 < x \leq 20\text{mm}$	0.5°
		$20 < x \leq 25\text{mm}$	0.5°
		$25 < x \leq 30\text{mm}$	0.5°
		$x \leq 5\text{mm}$	1.0°
		$5 < x \leq 10\text{mm}$	1.0°
		$10 < x \leq 15\text{mm}$	1.0°
3mm	2.1mm	$15 < x \leq 20\text{mm}$	1.0°
		$20 < x \leq 25\text{mm}$	0.5°~1.0°
		$25 < x \leq 30\text{mm}$	0.5°~1.0°
		$30 < x \leq 35\text{mm}$	0.5°~0.8°
		$35 < x \leq 40\text{mm}$	0.5°~0.8°

### 2. 不同材料的设计要点

#### (1) ABS

一般用  $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$  就可满足要求, 有时因为抛光纹路与出模方向相同, 拔模角可接近至零。有纹路的侧面需每深 0.025mm 增加  $1^{\circ}$  拔模角。正确的拔模角可向供应商取得。

#### (2) LCP

因为液晶共聚物有高的模数和低的延展性, 倒扣的设计应避免。在所有的肋骨、壁边、支柱等凸出胶位以上的地方均要有最小  $0.2^{\circ} \sim 0.5^{\circ}$  的拔模角。若壁边比较深, 或没有磨光表面, 或有蚀纹等, 则需要加额外的  $0.5^{\circ} \sim 1.5^{\circ}$ 。

#### (3) PBT

若部件表面粗糙度好, 需要  $1/2^{\circ}$  最小的脱模角。经蚀纹处理过的表面, 每增加 0.03mm 深度就需要加大  $1^{\circ}$  拔模角。

#### (4) PC

拔模角在部件的任何一边或凸起的地方都要有, 包括上模和下模的地方。一般光滑的表面  $1.5^{\circ} \sim 2^{\circ}$  已足够, 有蚀纹的表面要求额外的拔模角, 每深 0.025mm 增加  $1^{\circ}$  拔模角。

#### (5) PET

塑料成品的肋骨、支柱边壁、流道壁等需要设计拔模角, 如其拔模角能够达到  $0.5^{\circ}$  就已经足够。

#### (6) PS

$0.5^{\circ}$  的拔模角是极细的,  $1^{\circ}$  的拔模角是标准方法, 太小的拔模角会使部件难于脱离模腔。无论如何, 任何的拔模角总比无角度为佳。若部件有蚀纹的话, 如皮革纹的深度, 每深 0.025mm 就多加  $1^{\circ}$  拔模角。

### 5.1.13 加强筋设计

加强筋俗称肋或肋骨, 在塑料产品设计中是不可或缺的功能部分, 也是在塑料产品设计中随处出现为保障产品强度与材料最优原则的结构设计部分, 如图 5-75 所示。

加强筋一般应用于塑料产品的非接触面, 或者称塑料产品的内部。其目的是为了在不影响产品外观且造型美观的前提下, 保证产品的使用强度与性能。加强筋的伸展方向应跟随产品最大应力和最大偏移量的方向, 在选择加强筋的放置位置时通常受制于产品造型及模具、生产方面因素的影响, 如模腔充填、缩水及脱模等。通常加强筋的长度与产品的长度一致, 两端相接于产品的边缘壁, 也可只占据产品的部分长度, 用以局部增加产品某特定部分的刚性。当所设计的加强筋没有接上产品边缘壁时, 末端部分需要采取自然过渡而不应突然终止, 应该渐次地将高度减低, 直至完结, 从而减少困气、填充不满及烧焦痕等问题, 这些问题经常发生在排气不足或封闭的位置上。而且因为缩水的问题, 筋骨的厚度不能大于平均壁厚的厚度。常见加强筋设计如图 5-76 和图 5-77 所示。

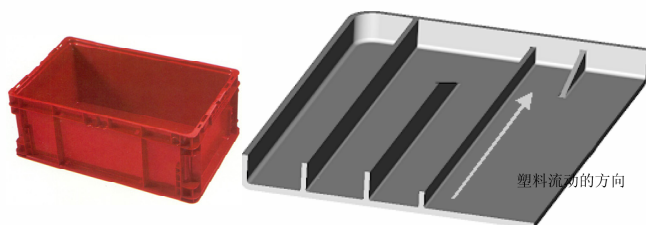


图 5-75 箱体外部的加强筋

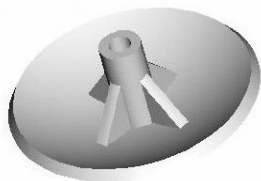


图 5-76 加强筋与局部加强

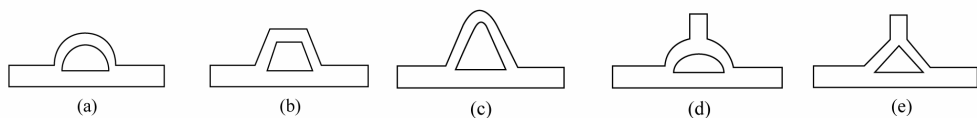


图 5-77 中空加强筋

加强筋通常以最简单的形状，即一条长方形的柱体附在产品的表面上，但为了满足一些生产、制造以及结构上的因素，加强筋的形状及尺寸须要进行相应的改变，如图 5-78 所示。

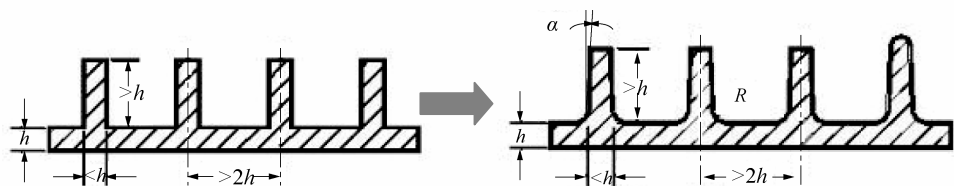


图 5-78 长方形的加强筋通过改变形状使生产更容易

加强筋的两边必须加上拔模角以降低脱模顶出时的摩擦力，底部相接产品的位置必须加上圆角以消除应力过分集中的现象，圆角的设计与流道渐变的形状使模腔充填更为流畅。此外，底部的宽度须小于相连外壁的厚度，产品厚度与加强筋尺寸的关系如图 5-79 所示。图 5-79 (a) 中加强筋尺寸的设计虽然已按合理的比例，但当从加强筋底部与外壁相连的位置作一半径为  $R$  的圆时，此部分相对外壁的厚度增加大约 50%，因此，此部分出现缩水纹的机会相当大。如果将加强筋底部的宽度相对产品厚度减少一半，产品厚度与加强筋尺寸的关系如图 5-79 (b) 所示，同样作圆，此时相对位置厚度的增幅即减至大约 20%，缩水纹出现的机会也大为减少。由此引申出使用两条或多条矮的加强筋比使用一条高的加强筋较为合理，但当使用多条加强筋时，加强筋之间的距离必须较相接外壁的厚度大。加强筋的形状一般是细而长，加强筋一般的设计图说明设计加强筋的基本原则。留意过厚的加强筋设计容易产生缩水纹、空穴、变形挠曲及夹水纹等问题，同时会加长生产周期，增加生产成本。

除以上的要求外，加强筋的设计还与使用的塑料材料有关。从生产角度看，材料的物理特性如熔料的黏度和缩水率对加强筋设计的影响非常大。此外，塑料的蠕

动特性从结构方面来看也是一个重要的考虑因素。例如，加强筋的高度是受制于熔料的流动及脱模顶出的特性（缩水率、摩擦系数及稳定性）的，较深的加强筋要求胶料有较低的熔胶黏度、较低的摩擦系数、较高的缩水率。另外，增加长的加强筋的拔模角一般有助产品顶出，不过，当拔模角不断增加而底部的阔度维持不变时，产品的刚性、强度，以及可顶出的面积随之减少。顶出面积减少的问题可在产品加强筋部分加上数个顶出凸块或使用较贵的扁顶针得以解决，同时在顶出的方向打磨光洁也有助产品顶出。从结构方面考虑，较深的加强筋可增加产品的刚性及强度而无须大幅增加重量，但与此同时，产品的最高和最低点的屈曲应力( Bending Stress )随之增加，产品设计人员须计算并肯定此部分的屈曲应力不会超出可承受的范围。如图 5-80 所示为火箭加强筋的优化，在其凸台端不要留有台阶。

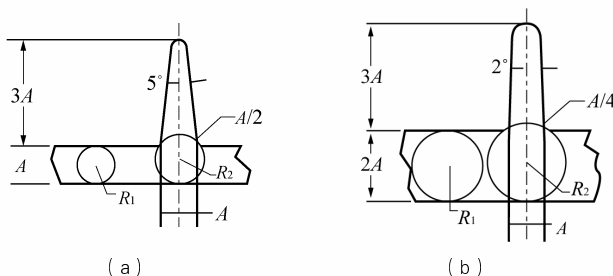


图 5-79 产品厚度与加强筋尺寸的关系

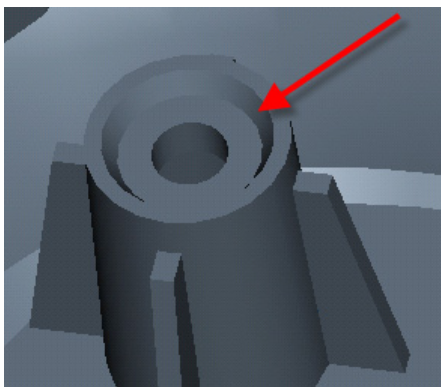


图 5-80 火箭加强筋

从生产的角度考虑，使用大量短而窄的加强筋比使用数个深而阔的加强筋更优，如图 5-81 所示。模具生产时（尤其是首件模具）：加强筋的阔度（也可能是深度）和数量应尽量留有余额，当试模时发觉产品的刚性及强度有所不足时可适当地增加，因为在模具上去除钢料比使用烧焊或加上插入件等增加钢料的方法更简便。

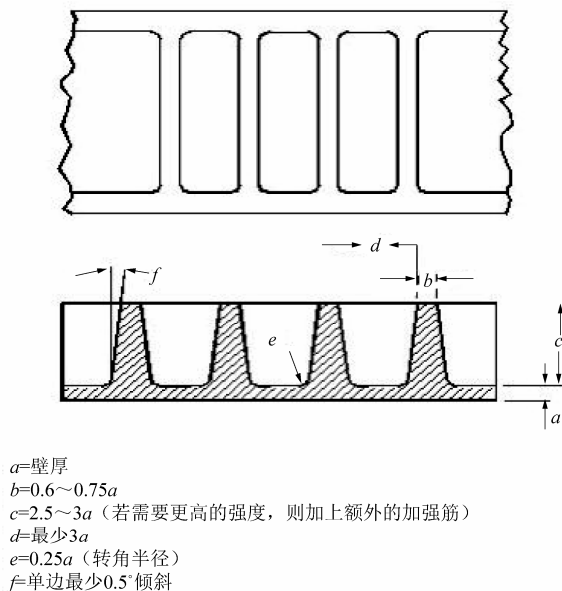


图 5-81 加强筋增强塑料件强度的方法

## 1. 加强筋的作用

(1) 在不加大制品壁厚的条件下, 增强制品的强度和刚性, 以节约塑料用量, 减轻重量, 降低成本, 如图 5-82 所示。

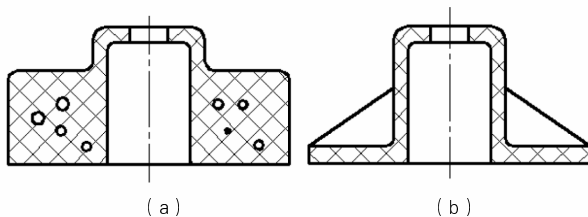


图 5-82 采用加强筋改善壁厚

(2) 可克服制品壁厚差带来的应力不均, 以及所造成的制品扭曲变形。

(3) 便于塑料熔体的流动, 在塑料制品本体某些壁部过薄处为熔体的充满提供通道。

## 2. 加强筋的设计原则

(1) 沿塑料流向设置, 从而降低塑料的充模流动阻力, 如图 5-83 所示。

(2) 布置加强筋时, 应避免或减少塑料局部集中, 以防止产生凹陷和气泡, 如图 5-84 所示。

(3) 加强筋以设计矮一些、多一些为好, 如图 5-85 所示。

(4) 相邻加强筋的间隔距离应大于塑件的壁厚。  
加强筋的正确形状和尺寸比例如图 5-86 所示。

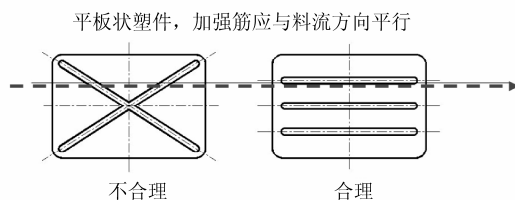


图 5-83 沿着流向平行方向的加强筋设计

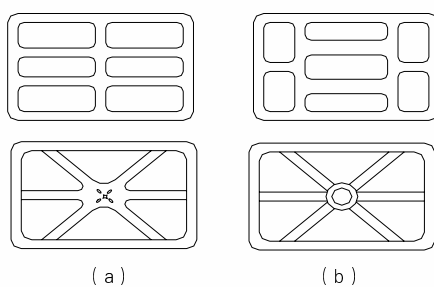


图 5-84 在塑件平面底部布置加强筋

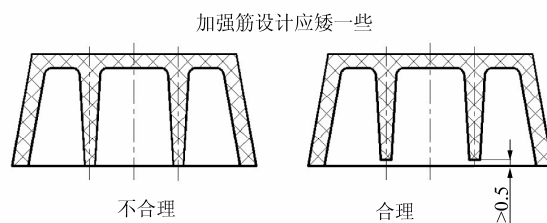


图 5-85 矮于壁厚的加强筋设计

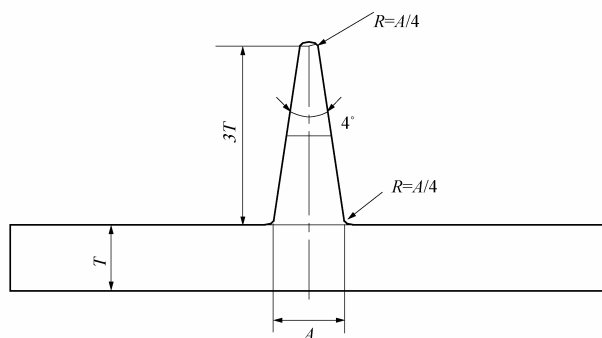


图 5-86 加强筋的正确形状和尺寸比例





### 3. 不同材料的设计要点

#### (1) ABS

有效地减少在主要部件表面上出现的缩水情形,加强筋的厚度应小于附属壁厚 的 50% 以上,在一些非决定性、影响外观造型表面效果不大的表面加强筋厚度可最 多达附属壁厚的 70%。在薄胶料结构性发泡塑料部件,加强筋厚度可达附属壁厚的 80%,厚胶料加强筋厚度可达附属壁厚的 100%。加强筋的高度通常选择为小于附 属壁厚的 3 倍,一般不得高于附属壁厚的 3 倍,如图 5-87 所示。

当同一附属面上的加强筋超过两条时,相邻加强筋之间的距离应不小于附属面 厚度的 2 倍。加强筋的拔模角对称,以便于脱模更容易,如图 5-88 所示。

#### (2) PA

单独的加强筋高度应小于附属壁的 3 倍,并在每条加强筋的后面,再相应增加 一些小加强筋或凹槽,以确保产品成型的收缩性。因 PA 材料的加强筋设计交汇处在 冷却时会产生较为明显的凹痕,通过在其附属壁的反面增加小加强筋或凹槽,既 可以作为装饰用途又可有效地消除缩水的缺陷,如图 5-89 所示。

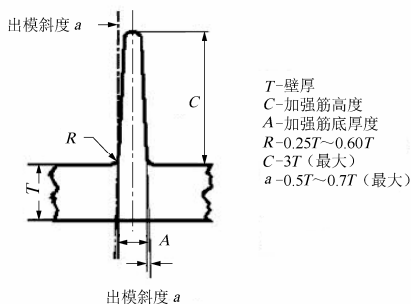


图 5-87 ABS 加强筋的设计要点

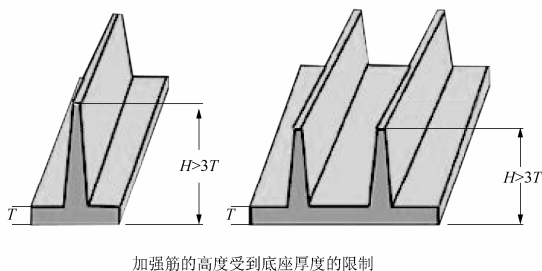


图 5-88 相邻加强筋之间的距离

#### (3) PBT

厚的加强筋设计应尽量避免产生气泡、缩水纹和应力集中。通常附属壁厚在 3.2mm 以下加强筋的厚度不应超过壁厚的 60%。在附属壁厚超过 3.2mm 的加强筋 不应超过壁厚的 40%。加强筋高度应小于附属壁厚的 3 倍。加强筋与附属壁的交汇 处应进行相应的圆角过渡,通常以一个半径大于 0.5mm 的圆角来相连接,使塑料 流动畅顺和减低内应力,如图 5-90 所示。

#### (4) PC、PS

通常加强筋的厚度取决于塑料材料的流动性与壁厚。当设计加强筋是为了应用 于增加强度作用,此时薄的加强筋要比厚的好。PC 与 PS 材料的加强筋设计主要有 以下特点。

加强筋的厚度不应超过其附属壁厚的 50%,当加强筋的厚度超过附属壁厚 50% 时,制品的表面将会出现光泽不均匀的现象,PC、PS 加强筋设计要点如图 5-91 所示。

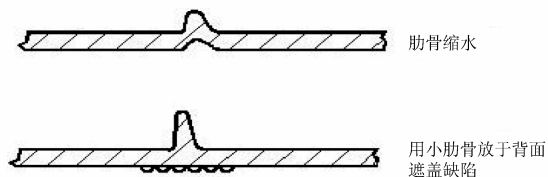


图 5-89 PA 材料加强筋

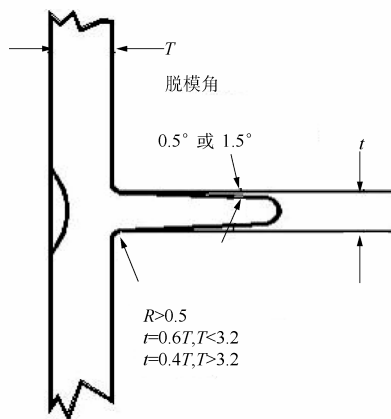


图 5-90 PBT 材料的设计要点

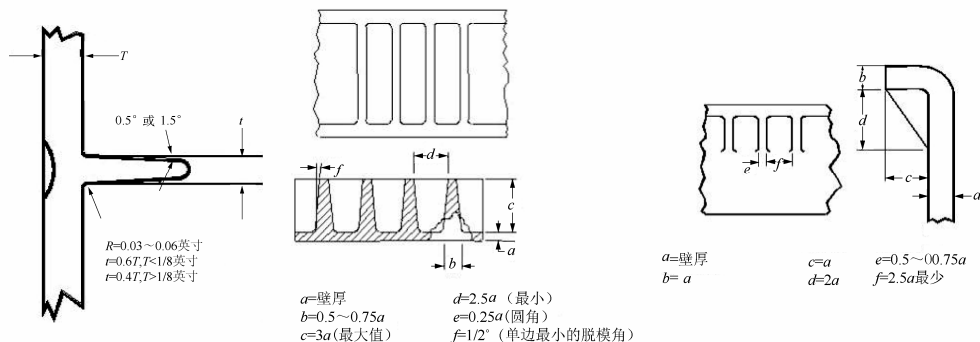


图 5-91 PC、PS 加强筋设计要点

## 5.2 塑料产品结构优化

### 1. 侧凹结构优化设计示例 (表 5-23)

表 5-23 侧凹结构优化设计示例

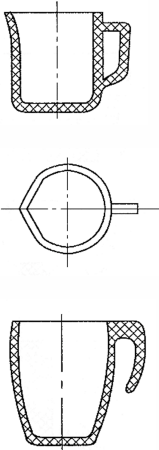
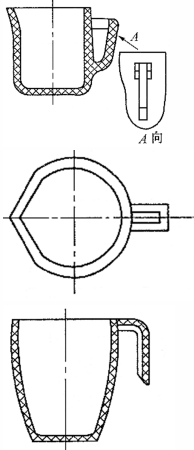
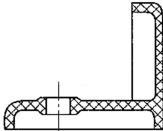
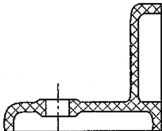
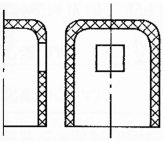
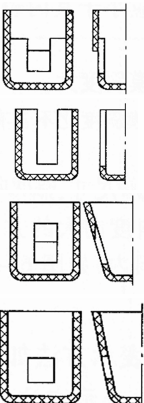
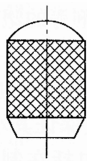
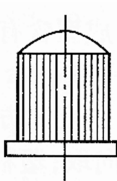
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计



续表

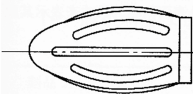
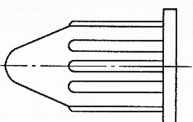
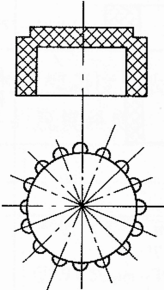
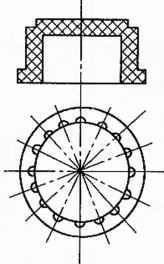
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
<p><b>结构设计点评</b></p> <p>原结构需要采用滑块，或侧面抽芯的方式才能实现，使得模具与产品结构复杂度增加，制造成本增加</p> <p>优化后的结构只需要采用普通的凸凹模的模具结构设计即可实现，使制品容易脱模，并且降低了模具制造成本</p> <p>原结构需要采用滑块、拼块的方式才能实现，使得模具与产品结构复杂度增加，制造成本增加</p> <p>优化后的结构改善了相应的模具结构难度，使制品容易脱模，并且降低了模具制造成本</p>			
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计

续表

结构设计点评			
原结构需要采用侧面抽芯的方式才能实现,使得模具与产品结构复杂度增加,制造成本增加	优化后的结构避免了模具的侧面抽芯,使制品容易脱模,并且降低了模具制造成本	原结构需要采用内镶块抽芯的方式,这使得模具抽芯难度增加,模具与产品结构复杂度增加,制造成本增加	优化后的结构改善了相应的模具结构难度,使制品容易脱模,并且降低了模具制造成本
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
结构设计点评			
原杯形手柄结构需要采用侧面抽芯的方式才能实现,使得模具与产品结构复杂度增加,制造成本增加	优化后的结构只需要采用普通的凸凹模的模具结构设计即可实现,使制品容易脱模,并且降低了模具制造成本	原结构需要采用内镶块抽芯的方式,这使得模具抽芯难度增加,模具与产品结构复杂度增加,制造成本增加	优化后的结构采用了外凹的方式,改善了相应的模具结构难度,使制品容易抽芯
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			

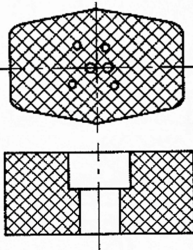
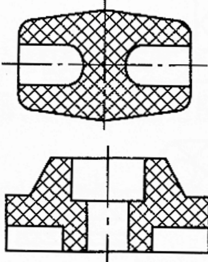
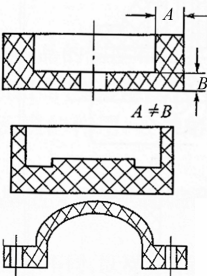
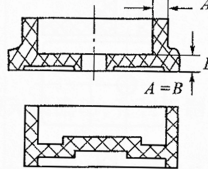


续表

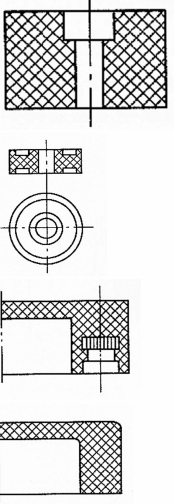
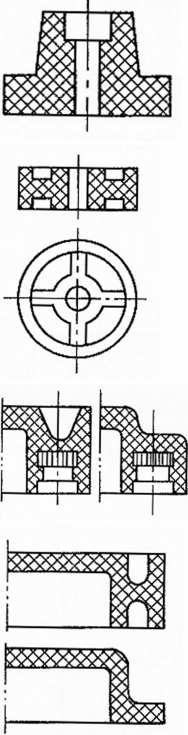
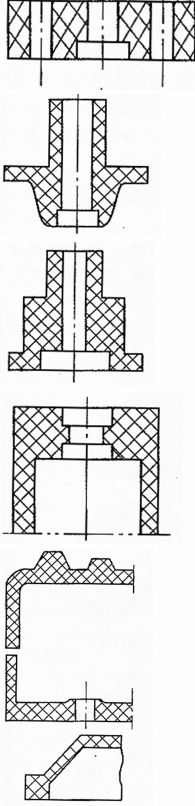
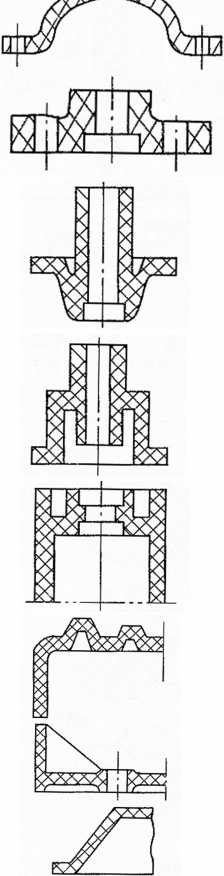
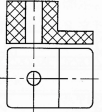
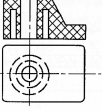
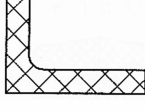
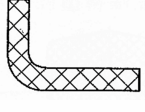
结构设计点评			
原结构需要采用侧面抽芯的方式才能实现,使得模具与产品结构复杂度增加,制造成本增加	优化后的结构避免了侧面抽芯,并且改善了制品的脱模斜度,使制品容易脱模,降低了模具制造难度	原结构制品外表面有菱形交错的凸凹纹滚花设计,需要采用侧抽芯的方式或瓣合模,使得模具结构复杂度增加,制造成本增加	优化后的结构改进了菱形交错的凸凹纹滚花,采用直纹的条纹设计,直纹与脱模方向保持一致,改善了相应的模具结构难度,使制品容易脱模
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
结构设计点评			
原结构需要采用拼合模的方式才能实现,制品成型表面容易产生溢边线	优化后的结构采用直纹的条纹设计,直纹与脱模方向保持一致,改善了相应的模具结构难度,避免了制品成型表面产生溢边线	原结构制品成型后的飞边不容易去除干净,制品成型外观品质受影响	优化后的结构,在制品成型分型面处存在一圈飞边,容易去除,改善了制品的外观品质

## 2. 壁厚结构优化设计 (表 5-24)

表 5-24 壁厚结构优化设计示例

存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			

续表

存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
结构设计点评			
原结构的壁厚过厚,导致在成型过程中产生缩孔、凹陷、翘曲等,使得产品报废率增加	优化后的壁厚采用均匀的壁厚设计方式,改善了制品相应的强度,节约了材料,避免了制品成型表面产生的缩孔、凹陷、翘曲等	原结构的壁厚不均匀,导致在成型过程中的冷却速度不一致,容易在成型后产生缩孔、凹陷、翘曲等,使得产品报废率增加	优化后的壁厚采用均匀的壁厚设计方式,改善了制品相应的强度,节约了材料,避免了制品成型表面产生的缩孔、凹陷、翘曲等
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			



续表

结构设计点评			
原结构的壁厚不均匀,尤其是在转角过渡处过于尖锐,容易在成型后产生翘曲现象,使得产品报废率增加	优化后的壁厚采用自然过渡的方式,改善了制品相应的强度,避免了制品成型后的翘曲现象	原结构的壁厚不均匀,尤其是在转角过渡处过厚,容易在成型后的转角处产生应力集中,使得产品可靠性降低	优化后的壁厚采用圆角过渡或加强筋的方式,改善了制品相应的强度,避免了制品成型后的翘曲与应力集中现象
存在缺陷		优化设计	
结构设计点评			
原结构的壁厚过厚,并且存在大面积的实心现象,制品的成型周期增加,在成型过程中产生缩孔、凹陷、翘曲等,使得产品报废率增加		优化后壁厚采用组合设计,将制品进行分解,用拼合中空或嵌件内芯的方式,改善制品相应的强度,避免制品成型后的缩孔、凹陷、翘曲等现象	

### 3. 支撑面结构优化设计 (表 5-25)

表 5-25 支撑面结构优化设计示例

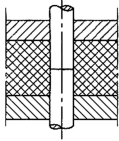
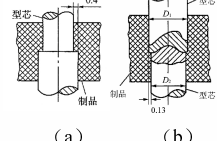
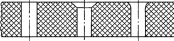
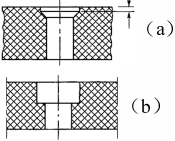
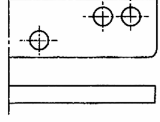
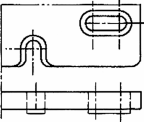
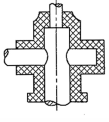
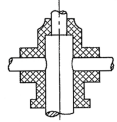
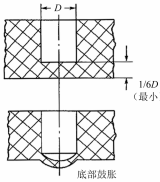
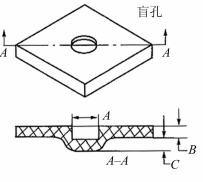
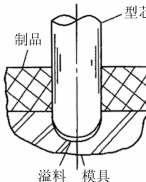
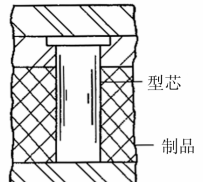
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计

续表

结构设计点评			
原结构采用整体大平面为支撑面，在成型过程中产生翘曲等现象，使得产品报废率增加	优化后的结构采用加强筋或凸台的方式作为支撑，改善了制品相应的强度，避免了制品成型后的翘曲等现象	原结构设计在成型后支撑面不容易在相同的平面上，在成型过程中产生翘曲等现象，使得产品报废率增加	优化后的结构采用支脚的方式作为支撑，改善了制品相应的强度，避免了制品成型后的翘曲等现象

## 4. 孔的结构优化设计（表 5-26）




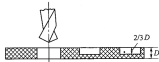
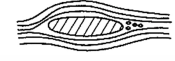
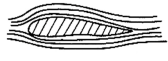
表 5-26 孔的结构优化设计示例

存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
结构设计点评			
原结构采用镶嵌在模具上两根同直径型芯对接成型通孔，由于凸凹模闭合不同心或型芯弯曲，造成所成型通孔的上、下两段不同心，影响孔的使用	优化后的结构采用两根不同直径型芯对接成型通孔，一根型芯的直径比成型孔公称直径大 0.4mm，见图（a）。也可通过采用两根不同直径型芯的锥面对接，锥面拼合处留有大于 0.13mm 的轴向间隙见图（b），以补偿凸凹模闭合的不同心，确保孔的使用效果	原结构设计在成型制品上的攻丝螺纹孔、自攻螺钉孔和沉头螺钉孔等，不宜采用锥形的埋头螺钉孔，其边缘容易发生崩裂现象	优化后的结构通过改变孔的方式，采用埋头螺钉孔，如图（a）所示。其孔口锥角 120°，并带有深 0.5mm 的圆柱部分，锥角便于丝锥找位，防止孔口碎裂。最理想的方式为采用沉头螺钉孔，如图（b）所示
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
结构设计点评			
原结构设计的空边距与两孔之间的间距距离过小，影响制品强度	优化后的结构采用凸边来增强孔的强度，将孔的强度位置最大化	原结构设计在成型制品上的孔相互垂直或交叉成交截孔，具有一定的成型难度	优化后的结构通过采用抽芯的方式来改变孔的成型难度，从而确保孔的成型强度
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			



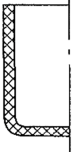

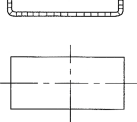
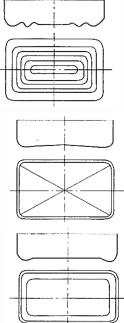



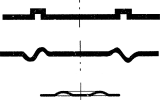

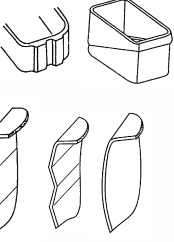

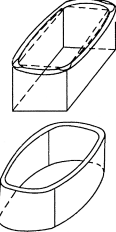


续表

结构设计点评			
原结构设计的成型盲孔直径控制难度增加,容易造成底部变形现象	优化后的结构采用盲孔底部外凸的方式,制品的壁厚 $B$ 与制品壁厚 $C$ 相等,转角采用圆角进行处理,避免了应力集中现象	原结构设计在成型过程中容易造成溢料以及型芯的折弯与折断现象	优化后的结构通过对型芯的改进方式来改变孔的成型难度,从而确保孔的成型强度
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
结构设计点评			
原结构的制品孔间距为具有公差要求的装配孔,在成型时容易造成精度难以控制的情况,从而影响产品装配	优化后的结构避免了装配的高精度公差要求,满足了制品的装配要求	原结构的设计塑料制品上直接成型通孔时,壁面形成熔接痕,影响了制品的强度与外观质量	优化后的设计采用二次加工法,设计制品时考虑成型盲孔,然后通过钻孔的方式形成通孔。成型盲孔的孔深为制品壁厚的 $2/3$ ,改善了制品的外观质量与强度
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
结构设计点评			
原结构的塑料制品上当存在有方形孔时,如果孔的尾端过宽,就会出现绕过方形型芯的熔融塑料在合流时包入较多空气,致使制品产生裂纹	优化后的结构将制品上方方形孔旋转 $90^\circ$ 或者改成圆孔则有利于改善成型工艺与质量	原结构的设计容易在 $x$ 处产生熔接痕,并且制品的成型中存在着转角为尖角,致使成型的熔料流动性差,制品容易应力集中	优化后的设计消除了熔接痕,改善了制品成型的变形现象与应力集中的现象

## 5. 边缘、平面、曲面的结构优化设计（表 5-27）

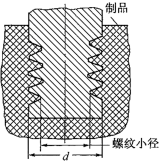
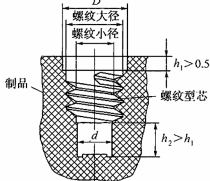
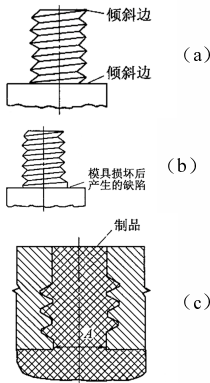
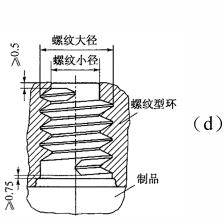
表 5-27 边缘、平面、曲面的结构优化设计示例

存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
<b>结构设计点评</b>			
原结构的上边缘在成型过程中容易造成变形与翘曲现象	优化后的结构在制品的上边缘进行了翻边设计，通过翻边设计来改善成型的变形现象	原结构的大面积底面平板面设计，在成型过程中容易造成大面积的变形与翘曲现象	优化后的设计在制品的底部采用加强筋方式的设计处理，改善了制品成型的变形现象与应力集中的现象
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
<b>结构设计点评</b>			
原结构的转角处采用直角设计，容易造成转角的应力集中与变形现象	优化后的结构在制品的转角处进行了圆角处理，通过圆角过渡来避免成型的变形现象	原结构的大面积平板面设计，在成型过程中容易造成大面积的变形现象	优化后的设计在制品的形状上采用适度的波浪状设计，改善了制品成型的变形现象
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
<b>结构设计点评</b>			
原结构的侧壁在成型过程中容易造成变形	优化后的结构在制品的侧壁进行了加强处理，并且通过加强筋以及各种形态的变化来避免成型的变形现象	原结构的箱形容器设计，在成型过程中容易造成大面积的变形现象	优化后的设计在制品的形状上采用适度的外圆弧设计，改善了制品成型的变形现象



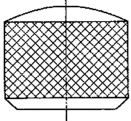
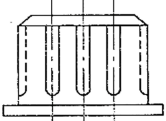
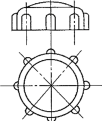
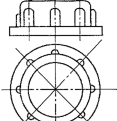
## 6. 螺纹的结构优化设计 (表 5-28)

表 5-28 螺纹的结构优化设计示例

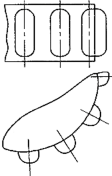
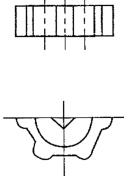
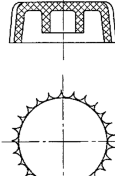
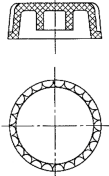
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
<b>结构设计点评</b>			
原结构的内螺纹型芯下端螺纹结束后直径没有不大于螺纹小径的圆柱段，制品无法从螺纹型芯上拧下，使得螺纹使用性能降低	优化后的内螺纹设计时，为防止第一扣螺纹碰伤或脱扣现象的出现，内螺纹的入口处应有一无螺纹的圆柱段，其直径 $D$ 应不小于内螺纹大径，高度 $h_1$ 应大于 0.5mm。内螺纹末端也有一无螺纹的圆柱段，直径 $d$ 不大于内螺纹小径，高度 $h_2$ 大于相配外螺纹头部无螺纹部分高度 $h_1$	原结构的图 (a)、图 (b) 的塑料件外螺纹不应延续到其头部和末端，在螺纹型环成型过程中，制品上尖锐倾斜的边缘对应型环尖锐倾斜的凸边，该凸边易损坏；同时，制品上的倾斜边缘也易损坏。图 (c) 所示成型外螺纹下端未大于或等于螺纹大径的圆柱面，制品无法从螺纹型环中拧出	优化后的外螺纹设计时，为防止第一扣螺纹碰伤或脆裂外螺纹的头部应有一无螺纹圆柱面，直径不大于螺纹小径，高度大于 0.5mm。螺纹底部有一直径不小于螺纹大径的圆柱面，其高度应大于 0.75mm

## 7. 滚花的结构优化设计 (表 5-29)

表 5-29 滚花的结构优化设计示例

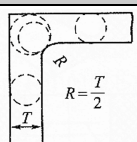
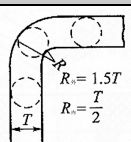
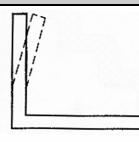
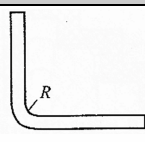


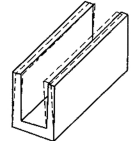
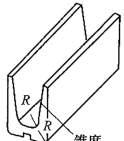
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
<b>结构设计点评</b>			
原结构的花纹采用交叉的棱形设计，致使制品的模具制造与制品成型脱模难度增加	优化后的花纹采用凹凸式的直纹设计，改善了模具制造与制品成型脱模的难度	原结构的滚花条纹采用贯通设计，导致容易在成型后在分型面处飞边难清理的现象出现	优化后的设计在制品成型后的飞边形状为圆形，避免了制品成型产生的飞边难清理现象

续表

存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
结构设计点评			
原结构的花纹处于制品表面的中间位置,致使制品的模具制造与制品成型脱模难度增加	优化后的花纹采用穿透式设计,改善了模具制造与制品成型脱模的难度,但带来了一定的毛边现象	原结构的滚花条纹尖细,导致容易在成型后毛边难清理的现象出现	优化后的设计采用圆形毛边,避免了制品成型产生的毛边难清理现象

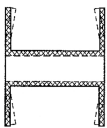

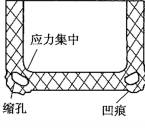
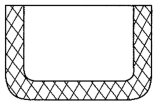
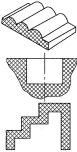
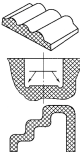
## 8. 圆角的结构优化设计 (表 5-30)

表 5-30 圆角的结构优化设计示例

存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
结构设计点评			
原结构的壁厚过渡处仅考虑内转角的圆角过渡,而未考虑外转角的圆角过渡,导致在成型过程中模具的型腔与成型制品容易产生应力集中现象	优化后的壁厚采用均匀的圆角过渡设计方式,改善了制品相应的强度,提高了模具与制品的强度	原结构的转角无圆角过渡,导致容易在成型后产生翘曲现象,使得产品报废率增加	优化后的壁厚采用均匀的圆角过渡方式,改善了制品相应的强度,避免了制品成型产生的翘曲现象
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
结构设计点评			
原结构的壁厚过渡处无圆角过渡设计,导致在成型过程中容易产生应力现象	优化后的壁厚采用圆角过渡的设计方式,改善了制品相应的强度,提高了模具与制品的强度	原结构的转角无圆角过渡,导致容易在成型后产生翘曲现象,使得产品报废率增加	优化后的壁厚采用锥度的方式改善壁厚,并增加了圆角 $R$ 的过渡设计方式,改善了制品相应的强度,避免了制品成型产生的翘曲现象

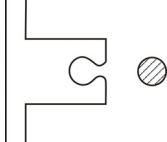
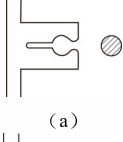
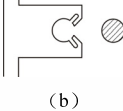

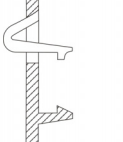


(续表)

存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
<b>结构设计点评</b>			
原结构的壁厚过渡处为直角设计, 导致在成型过程中容易产生翘曲等现象, 使得产品报废率增加	优化后的壁厚采用圆角过渡的设计方式, 并在圆角过渡处增加了20%的厚度, 改善了制品相应的强度, 避免了制品成型过程产生的翘曲等现象	原结构的转角壁厚不均匀, 导致在成型过程中的冷却速度不一致, 容易在成型后产生缩孔、凹陷等, 使得产品报废率增加	优化后的壁厚采用圆角过渡的均匀壁厚设计方式, 改善了制品相应的强度, 节约了材料, 避免了制品成型表面产生的缩孔、凹陷等现象
存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
			
<b>结构设计点评</b>			
原结构存在着尖锐的角度过渡, 使得模具与产品的强度降低, 制品容易造成应力集中		优化避免了尖锐角度的产生, 采用圆角进行过渡, 降低了应力, 提高了制品与模具强度	

## 9. 装配件的结构优化设计 (表 5-31)

表 5-31 装配件的结构优化设计示例

存在缺陷	优化设计	存在缺陷	优化设计
	 		
<b>结构设计点评</b>			
原结构存在着可变形的部位长度偏短, 变形比较困难所以导致装配困难, 而且装配的过程中很容易给零件造成永久性损坏	优化后的结构 (a) 因为开了一条通槽, 使得发生变形的部分长度大为增加, 从而使得在装配过程中变形比较容易, 但也正因为通槽的存在, 装配好之后轴的受力稍大便会因两侧的变形而造成脱落。最理想的设计应该使得在装配过程中的变形比较容易而在装配好之后自然受力的情况下不容易发生变形, 根据这个要求选择优化的方案 (b), 实际生产应用中也得到最佳的效果	原结构存在着因为卡勾的高度限制, 强行压入副零件会比较困难, 并且在压入过程中容易对 ABS 零件造成损坏。对于需要多次更换而进行的装配更会因疲劳而造成永久性损坏	优化后的结构采用了 U 形搭钩的方式来实现单向自然变形, 实际应用表明装配简单而固定性好

## 第 6 章

# 现代塑料表面处理工艺





## 6.1 印刷

在塑料产品设计中，为了增加产品的美观与附加价值，通常采用一些辅助的工艺进行相应的处理。若需在塑料制品的表面上印字或图案时，通常有以下几种方式：丝网印刷、曲面印刷、水转印、热转印、电化铝烫印、激光印字（镭雕）等工艺，如图 6-1 所示。



丝网印刷



曲面印刷



水转印



热转印



电化铝烫印



激光印字

图 6-1 产品印刷工艺图

### 6.1.1 丝网印刷

丝网印刷是一种古老而又应用很广的印刷方法，常简称丝印。丝网印刷属于孔版印刷，它与平印、凸印、凹印一起被称为四大印刷方法。丝网印刷通常分为两种，即手工印刷和机械印刷。手工印刷是指从续纸到收纸，印版的上、下移动，刮版、刮印均为手工操作。机械印刷是指印刷过程由机械动作完成，其中又分为半自动印刷和全自动印刷，半自动印刷指承印物放入和取出由人工操作，印刷由机械完成；全自动印刷是指整个印刷过程均由机械完成。

丝网印刷根据印刷对象材料的不同又可以分为：织物印刷、塑料印刷、金属印刷、陶瓷印刷、玻璃印刷、彩票丝印、广告板丝印、不锈钢制品丝印、丝印版画以及漆器丝印等。

针对塑料产品的丝网印刷称为塑料丝网印刷，简称塑料件丝印。塑料件丝印是塑料制品的二次机工（或称再加工）中的一种。由于塑料制品的种类繁多，但就印刷的方法而言，片材及平面体用平面丝印法；可展开成平面的弧面体用曲面丝印法；异形制品则采用间接丝印法。塑料制品因树脂、添加剂及成型方法的不同，其表面性能的差别很大，尤其是表面的平滑性、极性及静电等问题。

随着塑料制品的不断普及，塑料丝网印刷的应用范围也在不断增加，目前主要应用于以下八大领域中。

- （1）聚氯乙烯塑料的丝网印刷。
- （2）ABS 塑料的丝网印刷。
- （3）聚乙烯、聚丙烯塑料的丝网印刷。
- （4）电子产品塑料部件的丝网印刷。
- （5）塑料标牌的丝网印刷。
- （6）软、硬质塑料件的丝网印刷：① 塑料软管的丝印；② 软质塑料的丝印；③ 硬质塑料制品的丝印。
- （7）仪器面板的丝网印刷。
- （8）彩色涤纶标牌的丝网印刷。

### 1. 丝网印刷基本原理

丝网印版的部分网孔能够透过油墨，漏印至承印物上，印版上其余部分的网孔堵死，不能透过油墨，在承印物上形成空白。传统的制版方法是手工的，现代普遍使用的是光化学制版法。这种制版方法，以丝网为支撑体，将丝网绷紧在网框上，然后在网上涂布感光胶，形成感光版膜，再将阳图底版密合在版膜上晒版，经曝光、显影，印版上不需过墨的部分受光形成固化版膜，将网孔封住，印刷时不透墨。印版上要过墨的部分的网孔不封闭，印刷时油墨透过，在承印物上形成墨迹，印刷时在丝网印版的一端倒入油墨，油墨在无外力的作用下不会自行通过网孔漏在承印物上，当用刮墨板以一定的倾斜角度及压力刮动油墨时，油墨通过网版转移到网版下的承印物上，从而实现图像复制，其工艺流程图如图 6-2 所示。

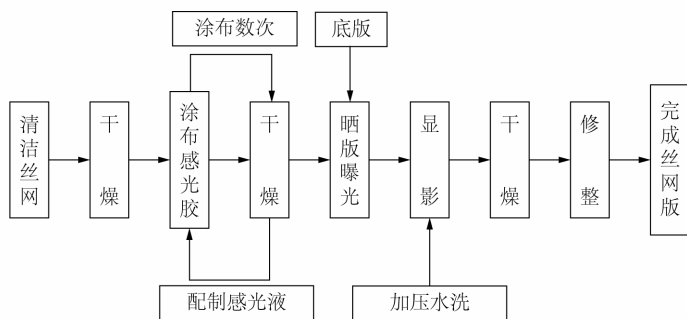


图 6-2 丝网工艺流程图



## 2. 丝网印刷的基本特点



图 6-3 丝网印刷机

丝网印刷的特点较多,其中最大的特点就是印刷适应性很强。在所有不同材料和表面形状不同的塑料制品上都能进行印刷,而且不受印刷面积大小的限制,因此也被称为万能印刷法,其印刷机如图 6-3 所示。丝网印刷与其他印刷方法相比具有以下特点。

(1) 成本低、见效快。丝网印刷既可以机械化生产,也可以手动作业。这种印刷方法所需设备和材料费用较其他印刷方法低,另外其制版方法和印刷方法也较为简便。

(2) 可用于不规则承印物表面的印刷。丝网版富于弹性,除在平面物体上进行印刷之外,还可以在曲面、球面或凹凸不平的异形物体表面进行印刷,比如各种玻璃器皿、塑料、瓶罐、漆器、木器等,在平印、凸印、凹印方法所不能印刷的地方,它都能印刷。

(3) 附着力强、着墨性好。由于丝网版的特点,油墨透过丝网孔,直接附着于承印物表面。根据承印物材质的要求,既可用油墨印刷,也可用各种涂料或色浆、胶浆等进行印刷。而其他印刷方法则由于对油墨中颜料粒度的细微要求而受到限制。

(4) 墨层厚实、立体感强。在四大印刷方法中,丝网印刷的墨层较厚实,图文质感丰富,立体感强。胶印墨层为 1.6mm,凸印约为 5mm,凹印的墨层约为 12.8mm,柔性版印刷的墨层厚度为 10mm,而丝网印刷的墨层厚度可达到 60mm。厚膜丝网印刷的墨层厚度可达到 1mm 左右。

(5) 耐旋光性强、成色性好。如果按使用黑墨在铜版纸上一次压印后测得的最大密度范围进行比较的话,胶印为 1.4,凸印为 1.6,凹印为 1.8,而丝网印刷的最大密度值范围可达到 2.0。在印品的成色性方面,即使是印色彩相当浅淡的同一件彩色印品,丝网印刷的质感和色泽远远超过了胶印。

(6) 印刷对象材料广泛。印刷对象材料可以是纸张、纸板、木材、金属、纺织品、塑料、软木、皮革、毛皮、陶瓷、玻璃、贴花纸、转印纸,以及各种材料的结合体,所以丝网印刷除了在印刷工业应用之外,还广泛地分布在印染、服装、标牌、无线电、电子、陶瓷和包装及装潢行业。

(7) 印刷幅面大。现在平印、凸印、凹印和柔性版印刷都受到印刷幅面尺寸的限制,而丝网印刷却可以进行大幅面印刷。特别是目前随广告市场的迅速发展,网印大型户外广告印刷品在广告市场中所占比重日益增大。

6.1.2 曲面印刷

通俗地讲，曲面印刷是指用一块柔性橡胶，将需要印刷的文字、图案，印刷至含有曲面或略为凹凸面的成型品的表面。曲面丝印是指在圆形表面（曲面）上的丝网印刷，如各种化妆品瓶、药瓶、酒瓶等，曲面大多为圆柱形或近乎圆柱形表面，极少也有圆锥形、球形等。不论是哪一种曲面，印刷的原理只有一个，就是丝印曲面应与网版做纯滚动，在滚动中，曲面与网版相切处为胶刮的落点，其延长线始终指向圆心。作为在塑料成型品的表面进行文字或图案的印刷方法，曲面印刷法通常被采用。

1. 曲面印刷的原理

曲面印刷是先将油墨放入雕刻有文字或图案的凹版内，随后将文字或图案复印到橡胶上，再利用橡胶将文字或图案转印至塑料成型品表面，最后通过热处理或紫外线光照射等方法使油墨固化。在此以圆柱、圆锥物体为例来说明曲面网印的方法。圆柱和圆锥体在印刷方法是相同的，因为印刷这两种承印物时，都需要转动。当刮板施压后网版上的印刷图案与承印物紧密接触时，版面移动并带动承印物转动而进行印刷。印刷完毕后取下承印物，这时刮板和网版同时返回原位，印刷过程完成。这个过程中要注意的是，在未印刷前，网版与承印物不能接触，要留有 2~3mm 的网距间隙。这与在平面网印中网版与承印物脱离的要求是相同的。刮板的锐角中心线与承印物的圆心在一条直线上，再使网版带动承印物转动起来进行印刷。其印刷流程如图 6-4 所示，印刷效果示例如图 6-5 所示。

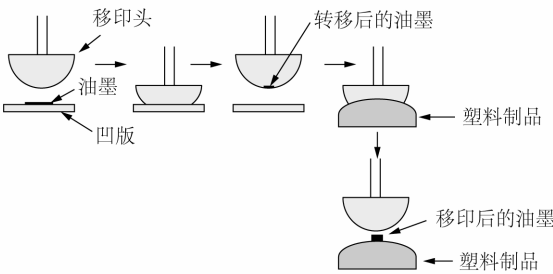


图 6-4 曲面印刷流程图



图 6-5 曲面印刷效果示例



曲面印刷的应用范围不仅包括圆柱体和圆锥体,还可对凹、凸面和异形面的制品进行精美网印。曲面印刷与平面印刷在印刷原理上并不存在差异,只是曲面印刷工艺难度更大。

## 2. 移印头与塑料制品间的间隙

确定移印头与塑料制品间间隙量的主要根据如下。

- (1) 移印面的大小。
- (2) 移印头张力的大小。
- (3) 移印头的中心垂度。
- (4) 塑料制品的形状。
- (5) 塑料制品材料的特性。
- (6) 塑料制品表面的形态。
- (7) 油墨的黏度。

## 3. 塑料容器的印前表面处理

(1) 脱脂处理。塑料制品表面沾上油污或脱膜剂会影响油墨的附着力,可通过碱性水溶液、表面活性剂、溶剂清洗和砂纸打磨达到表面清洁脱脂的目的。

(2) 除尘处理。灰尘的存在既影响油墨在塑料制品上的附着力,又影响网印的效果。采用表面活性剂洗涤可除尘和除静电,但干燥过程中又有沾尘的可能。采用装有高压电极产生火花放电的压缩空气喷头吹尘,速度快,操作方便,既除尘又除静电。另外,有一种除电刷,效果也比较理想。

(3) 提升塑料制品可印性的处理。应根据不同的塑料和工艺要求选择适宜的表面处理方法,如聚烯烃(PE、PP)非极性塑料,可采用火焰或电晕处理;聚酯塑料因含有苯环,其光学活性大,可采用紫外线光照射处理;尼龙可采用磷酸处理,以提升塑料制品的可印性。

## 6.1.3 转印

将中间载体薄膜上的图文采用相应的压力转移到承印物上的印刷方法,称为转印。转印在现在产品设计开发中是一种常用的表面效果处理工艺,通过较低的成本来达到各种不同的表面纹理效果,从而满足消费者个性化的需求以及提高产品的附加价值。根据采用压力的不同,转印分为:热转印、水转印、气转印、丝网转印、低温转印等。但从广义的角度,转印分为水转印与热转印两类。

### 1. 水转印

水转印是指利用水压将带彩色图案的转印纸(塑料膜)进行高分子水解的一种印刷。随着人们对产品包装与装饰的要求的提高,水转印的用途越来越广泛。其间接印刷的原理及完美的印刷效果解决了许多产品表面装饰的难题,主要用于各类塑料制品、陶瓷、玻璃花纸等的转印。

目前,大多数印刷方式都是针对平面或近似平面承印物的装饰印刷,如薄膜凹印、纸张胶印等;丝网印刷的承印物较多,可以印刷一些不规则的曲面,如塑料瓶;

移印的适应性比丝网印刷又有进步,但涉及范围太窄。这些印刷方式的共同点是利用承印物的柔性,将印版上的图文通过压力转印到承印物表面。由于转印技术属于间接印刷,对图文的转印不是通过直接在承印物表面印刷得到的,所以,可进行转印的承印物形状和材料种类非常多。水转印的技术就是利用水的压力作用将图文披覆在物体表面上,进行转移印刷的工艺技术。

**水转印技术分类:**根据水转印的实现特征,可以分为水披覆转印和水标转印。

(1) 水披覆转印。所谓水披覆转印,是指对物体的全部表面进行装饰,将工件的本来面目遮盖,能够对整个物体表面(立体)进行图案印刷,这是它的优点。但缺点也很明显,即柔性的图文载体完全与承印物接触时难免发生拉伸变形,所以,实际上转印到物体表面的图文难以达到很高的逼真程度。

(2) 水标转印。水标转印是将转印纸上的图文完整地转移到承印物表面的工艺,它很像热转印工艺,只是转移压力依靠水压,是近来流行的一种水转印技术,它可在承印物表面进行小面积的图文信息转印,与移印工艺的印刷效果类似,但投资成本较低,操作过程也比较简单,很受用户欢迎。水标转印工艺无须活化剂活化,免除了有机溶剂的污染,在制作工艺品和装饰品方面具有明显的优势。

**水转印工艺流程:**水转印技术被称为比较环保的技术,也是目前新兴的一种高效印刷技术,这与它脱离印刷过程中的油墨有关。水转印利用水的压力和活化剂使水转印载体薄膜上的剥离层溶解转移,其基本流程如下。

- ① 膜的印刷:在高分子薄膜上印上各种不同图案。
- ② 喷底漆:许多材质必须涂上一层附着剂,如金属、陶瓷等,若要转印不同的图案,必须使用不同的底色,如木纹基本使用棕色、咖啡色、土黄色,石纹基本使用白色等。
- ③ 膜的延展:让膜在水面上平放,并待膜伸展平整。
- ④ 活化:以特殊溶剂(活化剂)使转印膜的图案活化成油墨状态。
- ⑤ 转印:利用水压将经活化后的图案印于被印物上。
- ⑥ 水洗:将被印工件残留的杂质用水洗净。
- ⑦ 烘干:将被印工件烘干,温度要视塑材的塑性与熔点而定。
- ⑧ 喷面漆:喷上透明保护漆保护被印物体表面。
- ⑨ 烘干:将喷完面漆的物体表面干燥。

(1) 水披覆转印工艺流程。

① 薄膜活化。将水披覆转印薄膜平铺于转印水槽水面上,图文层朝上,保持水槽中的水清洁,且基本处于中性状态,用活化剂在图文表面均匀地喷涂,使图文层活化,易于与载体薄膜分离。活化剂是一种以芳香烃为主的有机混合溶剂,能够迅速溶解并破坏聚乙烯醇,但不会损坏图文层,使图文处于游离状态,薄膜活化原理如图 6-6 所示。

② 水披覆转印过程。将需要水转印的物品,沿其轮廓逐渐贴近水转印薄膜,图文层会在水压的作用下慢慢转移到产品表面,由于油墨层与承印材料或者特殊涂层固有的黏附作用而产生附着力。转印过程中,承印物与水披覆膜的贴合速度要保持均匀,



避免薄膜皱褶而使图文不美观。原则上讲,应保证图文适当的拉伸,尽量避免重叠,特别是结合处,重叠过多,会给人以杂乱的感觉。越是复杂的产品对操作的要求越高。水温是影响转印质量的重要参数。水温过低,可能会使基材薄膜的溶解性下降;水温过高又容易对图文造成损害,引起图文变形。转印水槽可以采用自动温度控制装置,将水温控制在稳定的范围内。对于形状比较简单、统一的大批量工件,也可用专用的水转印设备代替手工操作,如圆柱体工件,可以将其固定在转动轴上,在薄膜表面转动而使图文层发生转印,水披覆转印过程如图 6-7 所示。

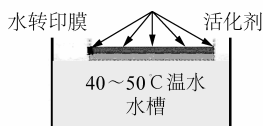


图 6-6 水披覆膜示意图

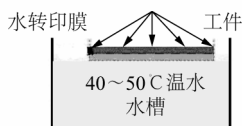


图 6-7 水披覆转印过程

### ③ 转印披覆图文的后处理。

**整理。**将工件从水槽中取出,除去残留的薄膜,再用清水洗去没有固着在产品表面的浮层。注意水压不能太大,否则容易对转印的图文造成破坏。

**干燥。**除去产品表面的水分,以利于转印墨层的彻底干燥;为增加附着牢度,可用吹风机干燥,也可将产品放在烘干箱内干燥。塑料产品干燥温度不能太高,大致在  $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ,温度太高容易使承印物变形;金属、玻璃、陶瓷等材料的干燥温度可以适当提高。

**喷涂保护漆。**为增强图文层对环境的抵抗性,要在表面进行喷漆处理。喷漆可以用溶剂型光油,喷完后进行自然干燥或加热干燥;也可用 UV 光油,采用紫外线固化干燥。相比之下,UV 固化更适应环保要求。

### (2) 水标转印工艺流程。

① 环境因素。清洁的承印物表面是实现高质量转印的必要条件,这一点对于任何印刷工艺都是相同的。转印前要保证承印物处于完全裸露状态。另外,干净整洁的工作环境有利于转印油墨层紧密地附着在承印物表面,空气中漂浮的尘埃最容易影响转印效果。

② 水标转印纸活化。水标转印纸分为可剥离水标转印纸和溶解性水标转印纸,可剥离水标转印纸的图文在活化后能够和基材分离,实现转印;溶解性水标转印纸活化后基材溶解于水,图文处于游离状态实现转印。水标转印纸的活化和水披覆转印膜的活化不同,它只是将转印纸浸入水中,将图文与基材分离,无须专用溶剂,如图 6-8 所示。具体过程是,先将需要转印的图文水转印纸裁成需要的规格,放入清洁的水槽,浸泡 20s 左右,使面膜与基材分离,为转印做好准备。

③ 水标转印纸加工过程。取出水转印纸轻轻贴近承印物表面,用刮板刮压图文面,使水分挤出,保持图文平铺在规定位置,进行自然干燥。对于可剥离水标转印纸,自然干燥后再放入烘箱内干燥,以提高图文的附着牢度,干燥温度在  $100^{\circ}\text{C}$  左右。因为可剥离水标转印纸图文表面有一层保护光油,无须再进行喷涂保护。但可溶性水标

转印纸图文表面并无保护层，自然干燥后需要喷涂光油处理，喷涂 UV 光油要用固化机固化。喷涂光油时一定要注意防止灰尘落在表面，否则产品外观会受到很大的影响。涂层厚度的控制是通过调整光油的黏度和喷涂量实现的，喷得过多容易造成均匀度下降。对于转印面积较大的承印物，采用丝网印刷进行上光，可获得较厚的涂层，也是很有效的保护措施。水标转印过程如图 6-9 所示。

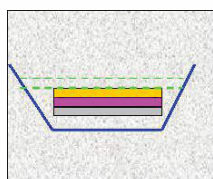


图 6-8 水标转印纸活化示意图

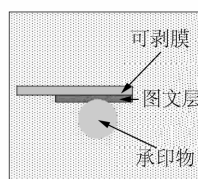


图 6-9 水标转印过程示意图

**水转印材料：**水转印材料是指在基材表面加工的能够整体转移图文的印刷膜，基材可以是塑料薄膜，也可以是水转印纸。这种印刷膜作为图文载体，它的出现是印刷技术的一大进步，因为有很多产品是难以直接印刷的，而有了这一载体，人们可以通过成熟的印刷技术将图文先印在容易印刷的载体上，再把图文转移到承印物上。例如，具有一定高度的、比较笨重的、奇形怪状的物品或是面积很小的物品都可以采用转印工艺。单就水转印工艺来说，它的适应性很广，几乎没有不可以转印的产品，用于水转印的转印材料有水披覆转印膜和水标转印纸。水转纸膜示例如图 6-10 所示。

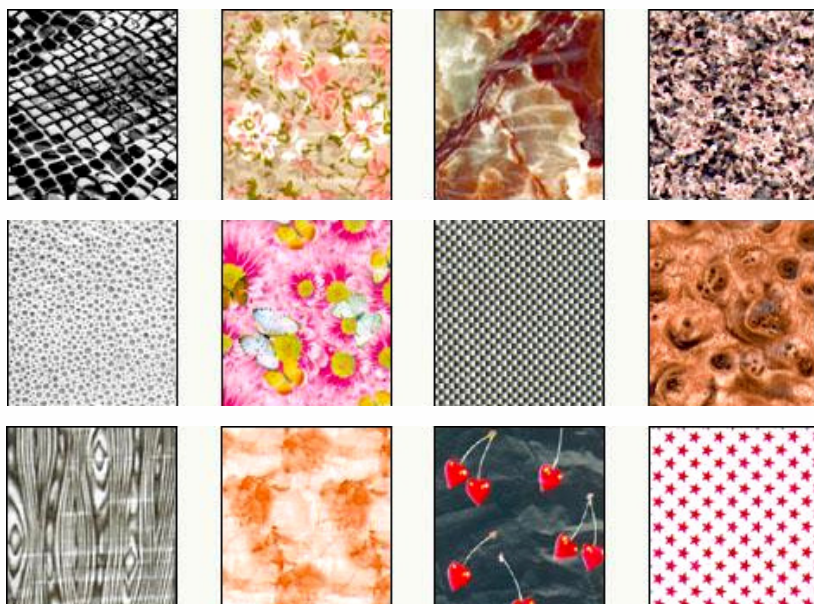


图 6-10 水转纸膜示例



**水转印的承印材料：**采用水转印技术可装饰日常生活中的大部分用品，如塑料、金属、玻璃、陶瓷、木质的平面和成型体。根据转印前是否需要涂层，可以将承印材料分为以下两大类。

（1）容易转印的材料。塑料中有些材料的印刷性能良好，如聚苯乙烯（PS）、ABS、有机玻璃、聚碳酸酯（PC）、聚氯乙烯（PVC）等材质，无须涂层就可以转印，转印原理与印刷原理相似。

（2）需要涂层的材料。玻璃、金属、陶瓷等非吸收性材料，以及聚乙烯、聚丙烯等非极性材料都需要先涂布专用涂层，才能进行水转印。涂层是一些对转印材料有良好附着力的油漆，可以用网印、喷涂、滚涂的方式加工。从印刷角度讲，涂层技术解决了对许多无法印刷的材料进行表面装饰的难题，现在流行的很多转印工艺，如热升华转印、热熔转印、陶瓷贴花转印、感压转印等，都需要在承印材料表面先进行涂布处理。

**水转印的应用领域：**

（1）汽车用品：仪表盘、控制盘、纸巾盘、茶杯座、磁带架、观后视镜框、操作把手、车锁等。

（2）电子产品：电话、传呼机、录像机、音响、遥控、鼠标、钟表、键盘、摄像头、电吹风等。

（3）居室用品：沙发、茶几、橱柜、吊灯、烟缸、花瓶、摆设用盛器等。

（4）日用精品：箱包装饰件、餐具柄、眼镜盒、笔、插笔筒、台历架、艺术相框、球拍、发饰、化妆笔、化妆盒等。

（5）室内建材：门窗、地板、贴墙板等。

## 2. 热转印

热转印是一项新兴的印刷工艺，由国外传入不过 10 多年的时间。热转印就是将花纹图案印刷到耐热性胶纸上，通过加热，加压，将油墨层的花纹图案印到成品材料上的一种技术。即使是多种颜色的图案，由于转印作业只是一个流程，故客户可缩短印刷图案作业，减小由于印刷错误造成的材料（成品）损失。利用热转印膜印刷可将多色图案一次成图，无须套色，简单的设备也可印出逼真的图案。热转印设备是根据热升华原理工作的，它能在 3~5min 内将所需要的纹理快速转印至承印品上。

该工艺印刷方式分为转印膜印刷和转印加工两大部分，转印膜印刷采用网点印刷（分辨率达 300dpi），将图案预先印在薄膜表面，印刷的图案层次丰富、色彩鲜艳、千变万化、色差小、再现性好，能达到设计图案者的要求效果，并且适合大批量生产；转印加工通过热转印机一次加工（加热、加压）将转印膜上精美的图案转印在产品表面，成型后油墨层与产品表面融为一体，逼真漂亮，大大提高产品的档次。热转印工艺应用于各种 ABS、PP、塑料、木材、有涂层金属等产品表面。目前热转印工艺已经广泛用于塑料、化妆品、玩具、电器、建材、礼品、食品包装、文具等行业。

由于具有抗腐蚀、抗冲击、耐老化、耐磨、防火、在户外可保持 15 年不变色等性能，几乎所有商品都用这种方式制作标签，例如，打开手机壳，内部即可看到

密密麻麻带有条码的用热转印技术制作的标签。很多标签要求能经得起时间的考验，长期不变形，不褪色，不能因接触溶剂就磨损，不能因为温度较高就变形、变色等，故必要采用一种特殊材质打印介质及打印材料来保证这些特性，一般喷墨、激光打印技术是无法达到的。热转印技术很早就应用于织物热转移印花生产，随着高科技飞速发展，热转印技术应用越来越广泛。

**热转印工艺原理：**热转印的原理是预先将彩色图案印在耐热基材薄膜上（通过离型处理），再配合专用的转印设备，以烫印的方法转印到产品的表面。热转印工艺的特点：操作简单、生产工序少、效率高、无污染、占地小、投资少，印刷后附着力好、光泽度高、图文清晰、套色准确、色彩鲜艳、安全无毒而且烫印后可以进行喷油喷砂、二次注塑、折弯冲剪等后加工处理。

**热转印工艺流程：**由于技术不断进步，目前已运用热转印技术成熟开发出的商品包括：衣服、布质包、帽子、抱枕、马克杯、瓷盘、瓷砖、手表壳、滑鼠垫、杯垫、挂式年历、奖牌、锦旗、工作牌、门牌、镜盒、金属酒壶等上百种商品。针对不同的转印物和设备，热转印的工艺有所不同，通常的热转印工艺流程如图 6-11 所示。

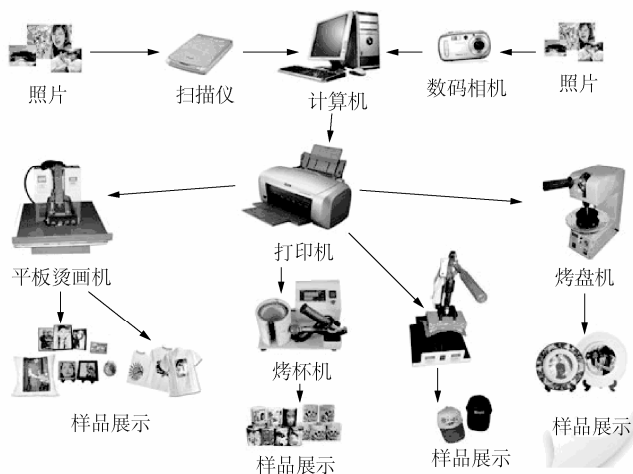


图 6-11 热转印工艺流程

例如，杯子、盘子上的转印工艺流程如下。

- (1) 选用热转印墨水的打印机、喷墨纸或者专用纸打印。
- (2) 对热转印的杯子、盘子进行烫画的涂层处理。杯子、盘子的外观尺寸要与烫杯机、烫盘机模具一致。
- (3) 打印的图片大小要与杯子、盘子上转印位置的大小一致或者小一些，打印中必须选择镜像打印。
- (4) 图片面朝杯子或者盘子，放在正确位置，杯子还需要使用胶条将边粘一下，尽量使图片与杯子结合部不要有空隙。瓷器上烫画的温度要高一些，时间也应长一些。



热转印的具体操作看似简单,通常几秒钟或者几分钟就可以完成,但是由于图片的不同、使用转印膜的不同、转印方式的不同,特别是承印物的属性、厚度、颜色甚至产地等的不同,造成转印的温度和时间的不同,掌握不好就难以达到最佳效果。

**热转印分类:**从油墨品种分,可分为热压转印型和热升华转印型两类;从被转印物分,可分为织物、塑料(板、片、膜)、陶瓷和金属涂装板等;从印刷方式分,可分为网印、平印、凹印、凸印、喷墨和色带打印等;从转印材料分,可分为热转印纸和热转印塑料膜等。下面以热压转印技术和热升华转印技术为例,进行介绍。

(1) 热压转印技术。热压转印技术首先是用网印、凹印等印刷方式,将图文印刷在热转印纸或塑料膜上,然后通过加热加压,将图文转印到织物、皮革等物品上。热转印工艺可以简称为烫画,可分为如下几类。

① 高温烫画:主要用于棉及混合针织服装,如T恤衫、睡衣等,图案有相片效果,烫后柔软有弹性。

② 低温烫画:主要用于尼龙布及PU(人造皮革),如弹力运动服、泳衣、羽绒服、运动鞋、皮革手套等,烫后图案效果与高温烫画相同,用于弹力服装,弹性效果极佳。

③ 植绒烫画:适用范围广泛,通常可用于女丝袜、男棉袜、服装商标、针织童装等,图案有立体效果,并可多色搭配,烫后柔软、有弹性、附着力强。

④ 渗透发泡烫画:主要用于棉、化纤针织衫、羊毛衫、牛仔裤等。主要特点是渗透到布料里,透气性好,发泡部分立体感强,凸起质感好,烫后手感柔软,附着力强。

烫印方法及注意事项如下:

① 将转印纸有图案面对准织物,置于所需位置。

② 用熨斗或转印机,加压加热几秒钟。

③ 撕去底纸(三种方法)。冷脱:完全冷却后慢慢撕去底纸;热脱:趁热立刻撕去底纸;温脱:待几秒钟,温热时撕去底纸。

④ 烫丝袜时要在承印面下加硅油纸,防止热熔胶下渗。

(2) 热升华转印技术。传统的热升华转印是指通过丝网印刷将热升华转印油墨印刷到纸(或塑料膜)上,将印好图文的纸(或膜)与织物重叠在一起加热、加压或减压,纸(或膜)上的染料就成气相状态升华转移到织物上。除织物外,还可以转印到陶瓷、金属等制品上。热升华转印技术的主要特点是转印图像色彩鲜艳,层次丰富,其效果可与印刷媲美。不同之处在于转印油墨中的染料受热升华,渗入物体表面,凝固后即形成色彩亮丽的图像,显然热转印产品经久耐用,图像不会脱落、龟裂和褪色。

随着高科技突飞猛进的发展,热转印技术及水平也得到进一步扩展和提高,热转印技术广泛采用计算机进行图像处理与设计,然后通过高速高质喷墨打印机将图像打印在纸(或膜)上,省去了制版过程,还可以将热升华油墨涂布在塑料膜上分切成色带应用在智能卡的打印技术上。用电子数码控制的烤杯机可将热升华转印花纸上的图案在几分钟时间内转印到杯子上。利用烤杯机在杯子上做一个漂亮、全彩

色的图片，所需的耗材仅仅是专用转印油墨和一个涂有特殊涂层的杯子，操作方便快捷。用电子数码控制的烤盘机可将热升华转印花纸上的图案用几分钟时间转印到盘子上。配备专用转印油墨，使用烤盘机便可在特制的盘子上烤制出各种图案。用电子数码控制的烤印机可将热升华转印花纸上的图案用几分钟时间转印到瓷板、金属板上。热升华转印技术适用于制作奖牌、荣誉证书、纪念牌、人像瓷板、杯子、水瓶等，如图 6-12 所示。



图 6-12 热转印产品

热转印后形成的彩色图像，具有色彩鲜艳、图案清晰、手感柔软、不褪色、牢固性强、耐水洗等特点。由于热转印技术可以使个人随心所欲地将个性化的照片或标识印制在一些日常生活用品上的想法成为现实，所以热转印可以适用于各种服装制品，以及在个性化的产品开发中使用。通过热转印这样的制作、点缀、美化等，实现商品的增值。

### 6.1.4 电化铝烫印

电化铝烫印是利用专用箔，在一定的温度下将文字及图案转印到塑料制品的表面。其优点在于该方法不需要对表面进行处理，使用简单的装置即可进行彩印。此外，还可以印刷出具有金、银等金属光泽的制品。电化铝烫印的主要材料是电化铝，也叫烫印铝，是由聚酯薄膜基片和转印层构成的。

#### 1. 烫印箔的种类

烫印箔可以分为卷筒箔和单张箔。还可以按照承印物的种类来分：比较常用的有 1#、8#、12#、15#、18#电化铝等。按照色泽分，比较常用的有：金银箔、棕红箔、浅蓝箔，以及黑色、大红、绿箔等。

1#电化铝：适合烫印在底色是浅色墨、质地较为松软的纸张、皮革、漆布、丝绸以及有机玻璃或塑料表面。

8#电化铝：适合烫印于纸张、漆布、皮革。

12#电化铝：适合烫印有机玻璃、硬塑料及部分上光纸表面。

15#电化铝：能够用于塑料薄膜、软塑料制品表面烫印。



18#电化铝：适合烫印在底色是深色墨和粗线条的纸产品、皮革上。

## 2. 电化铝烫印方法

电化铝烫印方法适用于成型品形状的电化铝烫印方法分为模压印与橡胶压印两种，具体如下。

**模压印：**利用热的模板将箔压印在成型品光洁的表面上（平面、曲面），从而得到精美的文字及图案的方法。如图 6-13 所示，将金属模版放在电热板上加热后使箔转移到成型品的表面。模压印所用材料为不因加热而被氧化且热传导性较大的金属材料。

**橡胶压印：**由橡胶等所制成的箔加热后压印至凸面的方法。如图 6-14 所示，将耐热橡胶板（硅胶）贴在加热板上，加热后将箔转印到成型品表面。在选用橡胶压印时，必须对箔的种类、压箔条件进行选择。此外，由于与箔相接触部分是选用热传导性较低的橡胶，故电热板的设定温度要高于模压印，一般为 230~240℃左右。我们必须依照不同的模压材料相应提高温度。在对凸部进行电化铝烫印时，对温度、加压条件的控制比较困难，有时不一定能得到精美的制品。为此，用铝箔来替代橡胶箔是一种比较有效的方法。

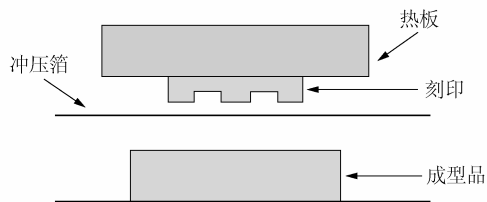


图 6-13 模压印原理图

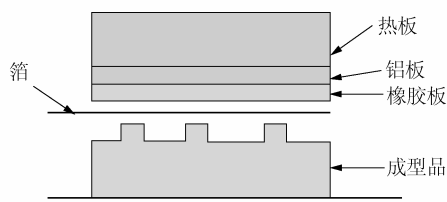


图 6-14 橡胶压印原理图

电化铝烫印所用的专用箔，通常是由不同种材料叠加组成的。目前箔的种类繁多，请根据需要进行选择。

## 3. 电化铝烫印工艺

电化铝烫印是利用热压转移的原理，将铝层转印到承印物表面。即在一定温度和压力作用下，热熔性的有机硅树脂脱落层和黏合剂受热熔化，有机硅树脂熔化后，其黏结力减小，铝层便于与基膜剥离，热敏黏合剂将铝层黏结在烫印材料上，带有色料的铝层就呈现在烫印材料的表面。

由此可知，电化铝烫印的要素主要为被烫物的烫印适应性、电化铝材料性能以及烫印温度、烫印压力、烫印速度，操作过程中要重点对上述要素进行控制，其操作工艺流程一般都包括以下几项内容：烫印前的准备工作→装版→垫版→烫印工艺参数的确定→试烫→签样→正式烫印。前四项内容介绍如下。

### （1）烫印前的准备工作

包括准备烫料及烫印板两项任务。

烫料的准备,包括电化铝型号的选择和按规格下料。型号不同,其性能和适烫的材料及范围也有所区别,如白纸与有墨层的印刷品、大面积印刷品与网点印刷品、大字号与小字号等,对电化铝型号的选择就要有所区别。如当烫印面积较大时,要选择易于转移的电化铝;烫印细小文字或花纹,可以选择不易于转移的电化铝;烫印一般的图文,应选择通用型的电化铝等。使用前,要根据所烫印的面积,将大卷的电化铝材分切成所需要的规格。分切时既要留有一定余地,又要避免浪费原材料,必须事先计算准确。

烫印版的准备。烫印所用版材为铜版,其特点是传热性能好,耐压、耐磨、不变形。当烫印数量较少时,也可以采用锌版。铜、锌版要求使用 1.5mm 以上的厚版材,通过照相制版加工成凸版,图文腐蚀深度一般应达到 0.5~0.6mm。加工时,要腐蚀得略深,图文与空白部分高低之差要尽可能拉大,这样在烫印时可以减少出现连片和糊版,以利于保证烫印质量。

### (2) 装版

装版是将制好的铜或锌版固粘在机器上,并将位置、压力调整到合适的位置。印版应粘贴、固定在机器底版上,底版通过电热板受热,并将热量传给印版进行烫印。印版的合理位置应该是电热板的中心,因中心位置受热均匀,当然还应该方便进行烫印操作。印版固定的方法是:把定量为  $(130\sim 180)\text{ g/m}^2$  的牛皮纸或白板纸裁成稍大于印版的面积,均匀地涂上牛皮胶或其他黏合剂,并把印版粘贴上,然后接通电源,使电热板加热到  $80\sim 90^\circ\text{C}$ ,合上压印平板,使印版全面受压约 15min,印版便平整地粘牢在底版上了。

### (3) 垫版

印版固定后,即可对局部不平处进行垫版调整,使各处压力均匀。平压平烫印机应先将压印平板校平,再在平板背面粘贴一张  $100\text{ g/m}^2$  以上的铜版纸,并用复写纸碰压得出印样,根据印样轻重调整平板压力,直至印样清晰、压力均匀。可根据烫印情况在平板上粘贴一些软硬适中的衬垫,但必须掌握衬垫厚度,以免造成印迹变形;同时要掌握衬垫的软硬性,以适应不同印刷品烫印的需要。使用衬垫的目的,是使印刷品与印版版面具有良好的弹性接触,从而提高电化铝烫印的质量。

### (4) 烫印工艺参数的确定

正确地确定工艺参数,是获得理想的烫印效果的关键。烫印的工艺参数主要包括:烫印温度、烫印压力及烫印速度,理想的烫印效果是这三者的综合效果。当一定的温度把电化铝胶层熔化之后,须借助于一定的压力才能实现烫印,同时,还要有适当的压印时间即烫印速度,才能使电化铝与印刷品等被烫物实现牢固黏合。

温度的确定。烫印温度对烫印质量的影响十分明显。温度过低,电化铝的隔离层和粘胶层熔化不充分,会造成烫印不上或烫印不牢,使印迹不完整、发花。烫印温度一定不能低于电化铝的耐温范围,这个范围的下限是保证电化铝粘胶层熔化的温度。温度过高,则使热熔性膜层超范围熔化,致使印迹周围也附着电化铝而产生糊版;还会使电化铝染色层中的合成树脂和染料氧化聚合,致使电化铝印迹起泡或



出现云雾状；高温还会导致电化铝镀铝层和染色层表面氧化，使烫印产品失去金属光泽，降低亮度。

确定最佳烫印温度所应考虑的因素，包括电化铝的型号及性能，烫印压力，烫印速度，烫印面积，烫印图文的结构，印刷品底色墨层的颜色、厚度、面积以及烫印车间的室温。烫印压力较小、机速快、印刷品底色墨层厚、车间室温低时，烫印温度要适当提高。烫印温度的一般范围为  $70\sim 180^{\circ}\text{C}$ 。最佳温度确定之后，应尽可能自始至终保持恒定，以保证同批产品的质量稳定。当同一版面上有不同的图文结构时，选择同一烫印温度往往无法同时满足要求。这种情况有两种解决办法：一是在同样的温度下，选择两种不同型号的电化铝；二是在版面允许的条件下（如两图文间隔较大），可采用两块电热板，用两个调压变压器控制，以获得两种不同的温度，满足烫印的需要。

压力的确定。施加压力的作用，一是保证电化铝能够黏附在承印物上，二是对电化铝烫印部位进行剪切。烫印工艺的本身就是利用温度和压力，将电化铝从基膜上迅速剥离下来而转粘到承印物上的过程。在整个烫印过程中存在着三个方面的力：一是电化铝从基膜层剥离时产生的剥离力；二是电化铝与承印物之间的黏结力；三是承印物（如印刷品墨层、白纸）表面的固着力。故烫印压力要比一般印刷的压力大。烫印压力过小，将无法使电化铝与承印物黏附，同时对烫印的边缘部位无法充分剪切，导致烫印不上或烫印部位印迹发花。若压力过大，衬垫和承印物的压缩变形增大，会产生糊版或印迹变粗。

设定烫印压力时，应综合考虑烫印温度、机速、电化铝本身的性质、被烫物的表面状况（如印刷品墨层厚薄、印刷时白墨的加放量、纸张的平滑度等）等影响因素。一般在烫印温度低、烫印速度快、被烫物的印刷品表面墨层厚以及纸张平滑度低的情况下，要增加烫印压力，反之则相反。

烫印速度的确定。烫印速度决定了电化铝与承印物的接触时间，接触时间与烫印牢度在一定条件下是成正比的。烫印速度稍慢，可使电化铝与被承印物黏结牢固，有利于烫印。当机速增大，烫印速度太快，电化铝的热熔性膜和脱落层在瞬间尚未熔化或熔化不充分时，就导致烫印不上或印迹发花。印刷速度必须与压力、温度相适应，过快、过慢都有弊病。

上述三个工艺参数确定的一般顺序是：以被烫物的特性和电化铝的适应性为基础，以印版面积和烫印速度来确定温度和压力；温度和压力两者首先要确定最佳压力，使版面压力适中、分布均匀；在此基础上，最后确定最佳温度。从烫印效果来看，以平稳的压力、较低的温度和稍慢的速度烫印是理想的。

#### 4. 烫印的工艺质量和影响因素

电化铝烫印实际上就是利用热压转移的原理，在一定的温度和压力作用下，热熔性的有机硅树脂脱落层和黏合剂受热熔化，有机硅树脂熔化后，其黏结力减小，铝层便与基膜剥离，热敏黏合剂将铝层粘接在烫印材料上，带有色料的铝层就呈现在烫印材料的表面。如图 6-15 所示为烫印原理示意图。

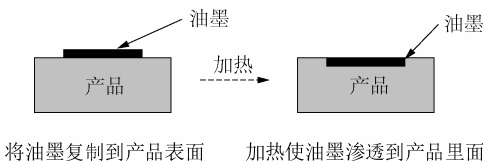


图 6-15 烫印原理示意图

**烫印流程：**烫印箔与基材接触→施加热和压力→卸除压力，聚酯薄膜脱离→进给烫印箔，更换将烫印的印件。

**烫印质量：**受电化铝与承印材料之间的烫印适应性、速度、温度、压力影响以及烫印版的质量、装版和热版技术、电化铝张紧度和烫印机机况等综合因素的影响，烫印的质量也会有所差异。完美的烫印主要取决于温度、压力、时间。

**烫印温度：**当烫印温度过高会出现使烫印印迹失去金属光泽、起泡、边缘不清晰、糊版等问题。烫印温度过低，会出现烫印不牢、字迹发毛、甚至无法烫印。

**温度适用标准：**1#电化铝，80～90℃；8#电化铝，75～90℃；12#电化铝，75～90℃；15#电化铝，60～70℃；纯金，80～130℃；色箔、金银箔，70～120℃。

**烫印压力：**压力过大会导致糊版或印迹变粗，当压力过小时，烫印箔与承印物无法黏附，并且不能对烫印的面积进行剪切。

**烫印速度：**实际上反映的就是烫印材料和承印物间的接触时间，直接影响到烫印的牢固性。太快会烫印不上或印迹发花；太慢既会影响烫印质量，又会影响生产速度。其中 8#和 12#电化铝适宜的烫印速度是（18～30）张/分钟；15#适宜的烫印速度是（18～22）张/min；1#电化铝的适宜速度是 40 张/min。

在一般的情况下，我们进行烫印时速度一般是不做改变的，也就是说，速度是常量，当条件变化的时候我们一般通过改变温度和压力来适应条件。

电化铝烫印的常见故障及解决方案见表 6-1。

表 6-1 电化铝烫印的常见故障及解决方案

现 象	原 因	解 决 方 法
烫花或烫印不牢	a.压力轻或温度低 b.烫印材料与被烫物不符合	a.加大压力或增加温度、时间 b.选用合适的烫印材料
烫印后无光泽、糊版不清晰	烫印温度过高、压力过大	降低温度、减轻压力
同一块版烫印后压力不等	图文面积大小悬殊、压力不均	将大面积图文压力加大，可用垫纸方法校正，以调整大小面积的压力相等
烫不上或烫迹脱落	a.烫印材料与被烫物不符合 b.烫印材料胶层质量不佳 c.温度过低、压力过小 d.无助黏剂或印刷时喷粉过多	a.选用合适的烫印材料 b.暂时换用，检查其质量 c.重新调整温度和压力 d.使用助黏料，清除印刷喷粉



续表

现 象	原 因	解 决 方 法
相同材料、正常烫印中时好时坏	a.材料质量不稳定 b.温度或压力不正常	a.检查材料质量、暂时换用并做记录 b.检查温度、时间、压力，并调整
烫印细线条图文断线不清晰	a.被烫印物花纹凹凸过大 b.压力过轻	a.凹凸过大的花纹面料不宜烫印细线图案 b.加大压力和温度弥补
烫印残缺	a.被烫印物花纹过深 b.压力小、温度低	a.加大压力 b.提高温度 5℃
烫印后字迹棱角不明显	烫版不平或烫版本身字迹的棱角就不突出	a.上烫版前检查烫版图文是否一致，不合格的要修理 b.将字迹棱角部位，在下版上垫高
凹形烫版烫后不出凸印迹	底版上版垫出凸形或凸形垫的不合适	将底版烫迹处垫起同样凹形版的凸出面，并应光滑、平整、适当
烫印色片或金属箔不黏结或黏结不牢	a.没加助黏料 b.温度或压力等不适当	a.织品类封面要加助黏粉，光滑无孔或少孔封面加助黏液 b.烫印温度要适中

### 6.1.5 激光印字

激光印字技术是利用激光所特有的高能量，直接将文字、图案打印至材料表面的印刷方法。我们可以依据所使用的激光种类（波长）或打印方式，分成数种类型。与一般的油墨印刷相比较，由于不需要周边设备，所以也就不需要使用溶剂，因此，激光印字技术是属于环保型的技术。此外，它利用制品本身的质变进行雕刻，印刷品因不易被磨损而备受瞩目。如图 6-16 所示为 PHILIPS 电话激光印字效果。



图 6-16 PHILIPS 电话激光印字效果

**激光印字的原理：**激光被照射物所吸收转为热能或引起光化学反应，被照射部分会因受热或化学反应而分解、蒸发、碳化、变色、发泡。由于周边及颜色与表面状态不同，因此我们可以清晰地看到文字或图样。

激光所产生的作用，会因激光波长或照射物质而异。有时也会因激光波长与照射物质不相吻合，不发生任何变化。

### 1. 激光印字的特点

- (1) 由于是雕刻印刷，耐磨损性好。
- (2) 由于不使用油墨与溶剂，也不需要清洗或表面处理，故不需要周边设备、保管设备、废溶剂处理设备等，成本低。
- (3) 由于使用激光进行打印，因此可描绘出精致的图案与细小文字。但不适用于涂布或粗体字。特别是扫描式，由于受计算机的控制，可自由描绘，并可针对每一种产品的不同文字进行自动打印。
- (4) 色彩与清晰度会受激光种类（波长）与印字材料的组合所影响，可印刷的颜色也是有限的。
- (5) 目前的激光印字设备价格昂贵，成本高。
- (6) 由于其印刷原理与黑白印刷相似，因此无法进行多色或彩色印刷。

### 2. 激光印字的种类

依据激光发光装置的不同而分类：二氧化碳激光机、钕铝石榴石激光机、原子激光机、高频钕铝石榴石激光机。

依据打印方式的不同分类：扫描式激光机、屏蔽式激光机。

**扫描式激光印字的原理：**扫描式激光机是采用相当于X轴与Y轴的2块镜片来控制激光的光线，在承印物上打印出所要的图案或文字。扫描式激光印字的原理如图6-17所示。

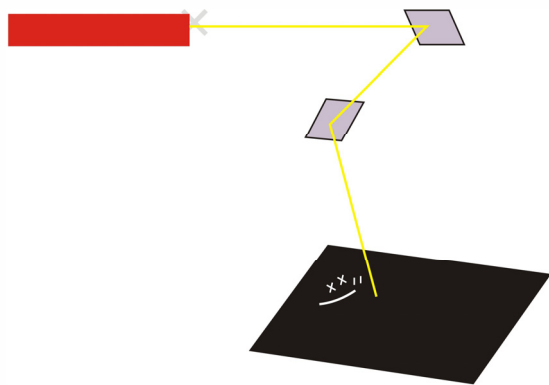


图 6-17 扫描式激光印字原理示意图

扫描式激光机的优点：

- (1) 擅长打印细小文字。
- (2) 绘图数据由计算机控制，适用于小批量生产，也可在每一个产品上分别打印文字或符号。
- (3) 以画线或细小文字为主进行打印时，可采用高速打印。
- (4) 与屏蔽式激光机相比较，可打印的面积较大。





扫描式激光机的缺点：遇到粗体字或涂布图形时，打印所需的时间较长。

**屏蔽式激光印字的原理：**使用屏蔽式激光机时，必须事先将要印刷的图案、文字制作在模板上，然后使激光透过模板，根据其投影进行雕刻。屏蔽式激光印字的原理如图 6-18 所示。

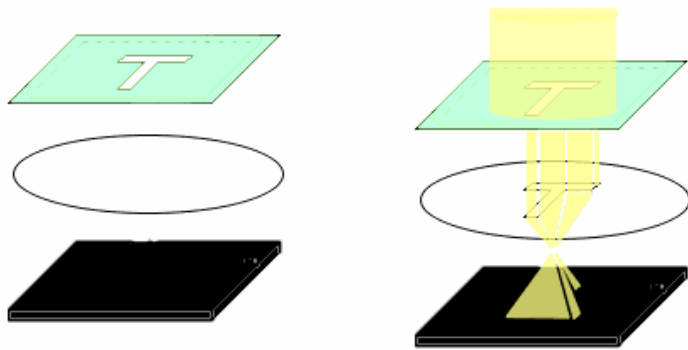


图 6-18 屏蔽式激光印字原理示意图

屏蔽式激光机的优点：

- (1) 每一次打印所需时间极短，适用于量产。
- (2) 因采用屏蔽式，可提高打印图案及文字的清晰度。
- (3) 与扫描式激光机相比较，可高速打印粗体字与涂布图形。

屏蔽式激光机的缺点：

- (1) 进行其他图案的打印作业时，必须更换模板。
- (2) 制作模板时需要一定的费用。
- (3) 由于激光是通过透镜分散的，在进行大面积的印刷时，会因无法完全获得激光能源，而无法获得反差。

### 3. 镭雕工艺

镭雕是表面处理的一种工艺，和网印、移印相似。镭雕（又名激光雕刻、激光打标、镭射打标等）是激光加工原理的一项重要应用，即利用经过处理的激光光束照射在材料表面，光能瞬间转换为热能，使表面材料瞬间熔融甚至气化，从而形成标记。也可理解为，通过激光束的光能导致表层物质的化学物理变化而刻出痕迹，或者是通过光能烧掉部分物质，显出所需刻蚀的图形、文字。如图 6-19 所示为 MP3 镭雕工艺示意图。

镭雕技术与传统的机械雕刻、化学腐蚀、丝网印刷、油墨打印等方式相比，具有运行成本低、灵活性高、控制精确、操作简便、标记永久等突出特点。由于镭雕的加工工艺十分简单，光束能量和光斑尺寸主要根据标记尺寸和材料特性确定，最后全部由计算机控制完成，因此镭雕技术近年来在印刷领域应用越来越多，可应用于包括塑料与橡胶、金属、硅晶片等多种材料上。镭雕按照雕刻方式不同可以分为点阵雕刻和矢量切割两类。



图 6-19 MP3 镭雕工艺示意图

**点阵雕刻：**酷似高清晰度的点阵打印，激光头左右摆动，每次雕刻出一条由一系列点组成的线，然后激光头同时上下移动雕刻出多条线，最后构成整版的图像或文字。扫描的图形、文字及矢量化图文都可以使用点阵雕刻。

**矢量切割：**与点阵雕刻不同，矢量切割是在图文的外轮廓线上进行，通常采用这种模式在木材、纸张、亚克力等材料上进行穿透切割，也可在多种材料表面进行打标操作。

镭射的应用领域有以下几方面。

**镭射雕刻：**塑料面板、开关、遥控器、电话按键、手机按键、硅胶按键等表面激光雕刻（镭雕）；金属制品、金属模板激光雕刻；非金属材料激光雕刻。

**镭射标记：**各种金属零件、塑料产品、喷漆产品、氧化产品、电镀产品、合金材料表面激光标记、打码。

**镭射切割：**各种金属材料激光切割，非金属材料、木板、塑料、有机玻璃、皮革、布料激光切割、雕花、镂空，精密塑料零件激光去毛刺。

**镭射内雕：**水晶制品、玻璃工艺礼品三维内雕、平面内雕。

**镭射打码：**金属、非金属产品激光打码、自动标记序列号、条码、生产日期。

**镭射打孔：**金属、非金属激光打孔。

### 6.2 喷涂

喷涂是塑料材料表面处理工艺中使用最频繁的一种工艺，尤其在电子与数码产品中是应用最为广泛的一种表面处理技术。当塑料表面喷涂工艺还未出现时，通常在塑料产品设计中使用塑料本色来实现材料颜色的变化，但这种塑料材料的变化所存在的问题是成本高以及颜色局限。最早使用喷涂技术的为诺基亚公司，主要应用于移动电话。后该技术被摩托罗拉公司发扬光大，并且推出个性化的系列效果。喷



涂技术由此进入塑料制品的表面处理工艺中，并被迅速应用到塑料制品的各种产品中。

为提高与改善喷涂效率，于是就出现了喷涂后续的烘烤工艺，即烤漆，是指塑料制品在喷涂或刷涂后，人为地将工件送入烤漆房，通过电热或远红外线加热，使漆层固化的过程。

而后再在喷涂表面进行光油处理，光油是喷塑涂料的表面层，起到美化喷塑涂层外表和提高涂层耐久、耐磨性等作用。如图 6-20 所示为现代喷涂流程图。

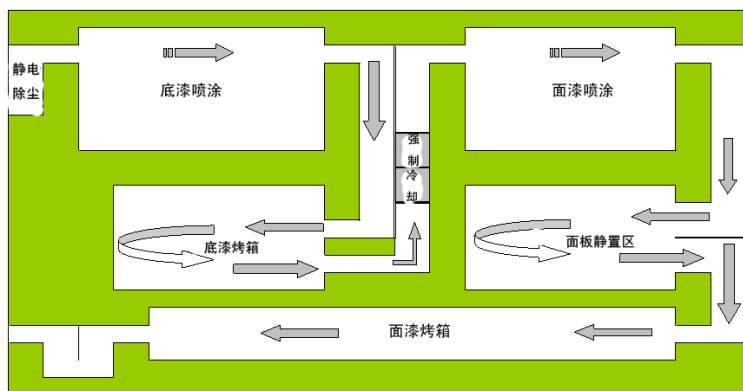


图 6-20 现代喷涂流程图

## 1. 塑料件喷涂所改善的制品效果

- (1) 可遮盖成型后制件的表面缺陷。
- (2) 因塑料件本身着色比较困难，可利用喷涂获得多种色彩。
- (3) 使塑料件的静电性能得到改善，减少灰尘吸附。
- (4) 增强了塑料件的硬度和耐磨性。
- (5) 使塑件表面的光泽可任意调整。
- (6) 砂纹漆、绒毛漆等一些特殊漆，可获得较好的外观及手感。

另外，塑料成型后表面状态对外观质量有很大的影响。要求成型后的表面平整光滑，均匀一致，不应有划伤、飞边、毛刺、凹坑、斑点、气泡和明显的熔接线，均可使用喷涂进行改善。

## 2. 塑料喷涂工艺流程

(1) 退火：塑料成型时易形成内应力，涂装后应力集中处易开裂。可采用退火处理或整面处理，消除应力。退火处理是把 ABS 塑料成型件加热到热变形温度以下，即  $60^{\circ}\text{C}$ ，保温 2h。由于采用此种工艺需要大量的设备投资，因此，可采用整面处理的技术，即配置能够消除塑件内应力的溶液在室温下对塑件表面进行 15~20min 的处理。

(2) 除油：塑料件表面常有油污、手汗和脱模剂，它会使涂料附着力变差，涂层产生龟裂、起泡和脱落。涂装前应进行除油处理，对塑料件通常用汽油或酒精清

洗, 然后进行化学除油。化学除油后应彻底清洗工件表面残留碱液, 并用纯水最后清洗干净, 晾干或烘干。

(3) 除电及除尘: 塑料制品是绝缘体, 表面电阻一般在  $10^{13}\Omega$  左右, 易产生静电。带电后容易吸附空气中的细小灰尘。因静电吸附的灰尘用一般吹气法除去十分困难, 采用高压离子化空气流同时除电除尘的效果较好。

(4) 喷涂: 塑料涂层厚度为  $15\sim 20\mu\text{m}$ , 通常要喷涂 2~3 道才能完成。一道喷涂后晾干 15min, 再进行第二次喷涂。需要光亮的表面还必须喷涂透明涂料。涂后的制件对于阻燃性能基本没有影响。

(5) 烘干: 涂完后可在室温下自干, 也可在  $60^\circ\text{C}$  条件下烘烤 30min。

在喷涂技术中, 最为核心的是涂料以及涂料的处理, 这决定着喷涂工艺的效果。

涂料通俗地讲, 是用来保护物体表面, 并增加其外观的圆滑、美感, 且对太阳光线、水分、汽油等所产生的锈变、腐蚀作用具有防止功能的表面涂层。由于化学技术的快速发展, 带动了涂层颜料的不断更新, 以及相应的涂装机器日新月异地发展, 推动了喷涂工艺的发展与普及。涂料主要由三种核心成分混合成液体, 即树脂、颜料及溶剂。另外, 还有辅助成分, 即涂料添加剂。

### 3. 涂料基本组成

(1) 树脂 (Resin): 植物组织的正常代谢产物或分泌物, 通常为无定型固体, 表面微有光泽质硬而脆, 少数为半固体, 其种类如下。

天然树脂: 松脂, 虫胶, 生漆。

合成树脂: 乙烯系, 醇酸树脂, 不饱和聚元酯, 尿素树脂。

胺基树脂: 三聚氰胺树脂, 酚树脂, 环氧树脂, 聚酯树脂, 压克力树脂, 硅树脂。生活中所用合成树脂占涂料中 90% 以上。

(2) 颜料 (Pigment): 赋予涂膜色彩, 且具有遮盖作用, 即为颜料。颜料分类如下。

着色颜料: 赋予涂料色彩, 遮盖力。

体质颜料: 具有充填性、耐研磨性, 用于中涂。

防锈颜料: 抑制锈的发生, 用于下涂。

(3) 溶剂 (Solvent): 可使树脂溶解, 将树脂及颜料混合成透明液体。溶剂与涂装时调和涂料所用的稀释剂 (Thinner) 有所区别。溶剂是单独能将某种物质完全溶解的化学品, 装在涂料桶混入涂料内; 而将涂料稀释用的稀释剂, 是由数种溶剂组成的, 俗称香蕉水。稀释剂由多种溶剂所组成, 依据涂料的种类、蒸发的速度、溶解力, 配成许多种类的稀释剂。

硝化棉喷漆 (Nitro Cellulose Lacquer) 使用喷漆稀释剂; 压克力烤漆使用压克力烤漆稀释剂; 聚脲脂涂料使用聚脲脂稀释剂; 喷磁漆使用喷磁漆稀释剂。若喷漆涂料使用喷磁漆稀释剂, 则涂料不溶解; 若以喷漆稀释剂溶解聚脲脂涂料, 虽可溶解, 但涂膜会有气泡、针孔的发生, 无法得到美观的涂膜。下列为代表性的稀释剂的组成, 须依涂料的种类、气温、湿度, 选择专用的稀释剂。



喷漆稀释剂分类：碳氢类（甲苯，二甲苯），酯类（丁酯，乙酯），醇类（丙醇，丁醇），酮类（甲乙酮，丁酮），醚类（丁基纤维剂，乙基纤维剂）。

三聚氰胺烤漆稀释剂分类：碳氢类（甲苯，二甲苯），醇类（丙醇，丁醇），醚类（丁基纤维剂，乙基纤维剂）。

压克力烤漆稀释剂分类：碳氢类（甲苯，二甲苯），酯类（丁酯，乙酯），醇类（丙醇，丁醇），醚类（丁基纤维剂，乙基纤维剂）。

（4）涂料用添加剂：涂料成分除了树脂、颜料、溶剂外，尚须加入其他添加剂以改善涂料与涂膜的性能，这些添加剂应视涂料的种类与发生的现象而慎重选用。醇酸树脂（Alkyd）涂料及油性涂料以熟炼油为展色剂须用干燥剂，涂料分散时又须用分散剂，硝化纤维素涂料须用可塑剂，其他的还有平坦剂、防沉剂、增黏剂、防结皮剂、颜色分离防止剂等。

## 6.2.1 UV 喷涂

随着油漆涂装工艺的发展及消费意识的增强，一种新型的油漆——UV 油漆随之产生。UV 油漆以良好的环保性、耐化学性、耐物理损伤性、高硬度及快速干燥的特点被广大木制品生产企业所采用。UV 就是紫外线（Ultra-Violet Ray）的英文简称，工业用的 UV 波长为 200~450 nm。用 UV 来照射“UV 照射可硬化的材料”而使其硬化的制程，称为 UV 硬化制程（UV Curing Process）。如图 6-21 所示为音箱 UV 喷涂的效果，如图 6-22 所示为 UV 喷漆操作流程。

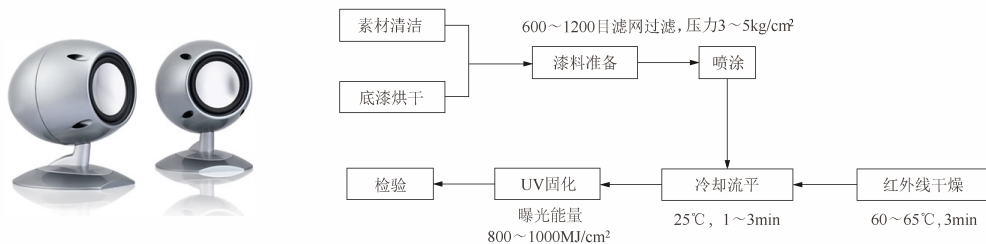


图 6-21 音箱 UV 喷涂的效果

图 6-22 UV 喷涂操作流程

### 1. UV 喷涂的优点

（1）硬度高。最高硬度可达 5~6H，但手机、相机产品的塑料成型一般不会做到太高的硬度，因为当材料硬度太高时，其他的物性势必会降低，比如柔韧性等。

（2）普通塑料材料时间长了容易泛黄，因此，在产品外观要求纯白时，一般使用 UV 上光以保证产品的表面效果。

（3）固化速度快，生产效率高。固化机理属一种自由基的链式反应，交联固化在瞬间完成，所设计的生产流水线速度最高可达 100m/min，工件下线即可包装。属于绿色环保型涂料，与传统烘干型涂料相比使用 UV 涂料的效率是其 15 倍以上；常温固化，很适合于塑料工件，不产生热变形。

(4) 涂层性能优异, UV 涂料固化后的交联密度大大高于热烘型涂料, 故涂层在硬度、耐磨、耐酸碱、耐盐雾、耐汽油等溶剂各方面的性能指标均很高, 特别是其漆膜丰满、光泽尤为突出。

(5) UV 漆所采用的光固化工艺在淋刷油漆时无污染, 是公认的绿色环保产品, 比 PU 漆更环保。

UV 喷涂的缺点是涂料对灰尘敏感, 因而对施工环境要求严格。

### 2. UV 的应用领域

(1) UV 光固化丝印上光油。可用于印刷局部上光, 也可以满版上光, 上光印刷表面色彩鲜艳光亮透明, 具有照片效果, 耐磨, 不起层, 不卷曲, 用于高档包装的表面装饰及保护。

(2) UV 塑料上光油(可烫金)。UV 塑料上光油主要用于 PE、PP、PC, 适用于数码产品塑料件表面上光。

(3) 光盘保护 UV 光油。光盘保护胶是光盘生产的关键材料, 对光盘的质量是至关重要的, 要求与光盘的反射金属层黏结好, 对油墨适应性强, 高、低温性能好, 抗磨损性能佳。

### 6.2.2 PU 喷涂

PU 喷涂的基础为 PU 漆, PU 漆又叫双组分聚氨酯漆, 其中皮革漆就是 PU 漆的一种。PU 漆主要的化学组分为: 甲组分(固化剂)的异氰酸酯基( $-NCO$ ) + 乙组分(漆)的羟基( $-OH$ ) = 聚氨酯高聚物(漆膜)。PU 漆的稀释剂(天然水)主要起调节黏度、便于稀释的作用。如图 6-23 所示为塑料手柄 PU 喷涂效果示意图。



图 6-23 塑料手柄 PU 喷涂效果示意图

#### 1. PU 漆的特点

- (1) 漆膜较薄, 硬度最高能达到 2H。
- (2) 耐黄变。
- (3) 漆膜附着力很强, 漆面不容易开裂脱落。

- (4) 光泽匀称，呈现亚光效果。
- (5) 具有很强的渗透性和柔韧性，能渗透到基材的表层里面。
- (6) 抗重击能力和耐磨性强。
- (7) 兼具保护性和装饰性，可用于高级工艺品、高级木器、钢琴、大型客机等的涂装。
- (8) 漆膜具有优良的耐化学药品性，耐酸、碱、盐、石油产品。
- (9) 可采用设备烘干，也能常温或低温固化。

UV 喷涂和 PU 喷涂之间主要的区别是其工艺处理过程的不同。如图 6-24 所示为 PU 喷涂操作流程。

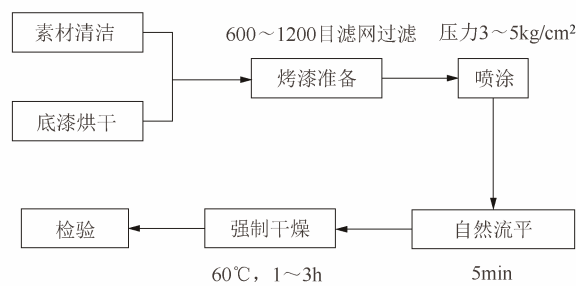


图 6-24 PU 喷涂操作流程

### 2. PU 漆与 UV 漆的比较

UV 漆所采用的光固化工艺在淋刷油漆时无污染，比 PU 漆更环保，从工厂加工的工艺上说，对工人的健康及环境的保护有好处；从生产角度看，它是一种更新换代的产品，PU 漆正逐渐被 UV 漆所取代。PU 漆与 UV 漆比较见表 6-2。

表 6-2 PU 漆、UV 漆的比较

涂 料	加工方式	硬化时间、可否返工	硬 度	附着力	价 格	光泽度
PU 漆	烤箱	硬化反应需 7 天，可返工	漆膜较薄，不是很硬，最高能达到 2H	特别好	低于 UV 漆	光泽匀称，看上去不是很亮
UV 漆	UV 灯固化	硬化 30min，不可以返工	漆膜硬度高，最高硬度可达 5~6H	不如 PU 漆	成本高	光泽度高，可为亚光、半亚光和亮光

PU 喷涂及 UV 喷涂是在现有科学技术的基础上发展起来的一门新技术，因此可以看做是多种技术共同组合形成的综合体，包括辐射源（UV 和 EB）、原料、单体和齐聚物、光引发剂、各种助剂（如颜料、添加剂）、化学配方（涂料、油墨、黏合剂等）、基材与涂布装置等。自出现以来，就成为生产高档产品青睐的外观工艺，在全球取得了长足的进展，市场在稳定的成长中。根据对塑料制品产品的观察，PU 漆正逐渐被 UV 漆所取代，很多厂商基本不再使用 PU 喷涂，其原因如下。

(1) UV 喷涂的干燥时间更短, 只要过一遍光固机就基本可以了, 因此加工速度更快。

(2) UV 漆光泽度高。

(3) UV 漆外观更为饱满。

(4) UV 漆所采用的光固化工艺在淋刷油漆时无污染, 比 PU 漆更环保。

### 6.2.3 火焰喷涂

塑料火焰喷涂是将粉末通过喷枪火焰加热至熔融状态后喷射到工件表面而形成涂层的一种喷涂技术。塑料火焰喷涂主要用于改善材料表面的物理、化学和机械性能, 并兼有装饰表面的作用。目前, 该技术已逐步应用于产品制造、设备维修以及防腐涂层的制备等方面。随着各行各业现代化建设的需要和塑料火焰喷涂技术的发展, 塑料火焰喷涂的应用将会越来越广。

塑料种类很多, 根据塑料受热的性能, 可分为热塑性塑料及热固性塑料两大类。火焰喷涂用塑料粉末一般由塑料原料加上改性材料制成。这些改性材料, 包括各种填料、颜料、流平剂、增韧剂等。通过改性, 使塑料粉末容易进行火焰喷涂, 使制成的涂层具有所要求的颜色和各种性能。

热塑性塑料的特点是随温度上升而变软或熔化, 冷却后则凝固成型变硬, 这个过程为可逆过程, 可反复进行多次。通常热塑性塑料, 具有优良的抗化学性、韧性和弯曲性能, 火焰喷涂常用的热塑性塑料主要有聚乙烯、尼龙、聚丙烯、聚苯硫醚、氯化聚醚、EVA 等, 其中以聚乙烯、尼龙应用最多最广。热塑性塑料的这一特点正是火焰喷涂所需要的。因此, 目前用于火焰喷涂的塑料主要是热塑性塑料, 其中应用最多的是聚酰胺 1010, 即尼龙 1010, 还有聚乙烯, 如 PE 聚乙烯。

热塑性塑料的共同特点是熔点低, 例如, 尼龙 1010 的熔点为  $200\sim 210^{\circ}\text{C}$ , 聚乙烯的熔点为  $123\sim 130^{\circ}\text{C}$ 。粉末的燃点温度或分解温度距熔点温度的差值较小, 因此, 塑料火焰喷涂就必须有效地控制火焰温度及对塑料粉末的加热程度, 要保证加热后的塑料颗粒既处于熔融状态, 又低于燃点或分解温度, 否则塑料粉末将会燃烧或变质。这就是塑料火焰喷涂的技术关键。解决这一问题的方法是在原有气焊枪的基础上, 在气焊枪的氧-乙炔火焰外面添加一层空气(简称气雾或气帘), 使火焰直接加热空气, 然后让空气再加热塑料粉末, 这样就可以达到所需的喷涂加热温度, 完成喷涂操作。

#### 1. 火焰喷涂的特点

塑料火焰喷涂与其他喷塑工艺和其他喷涂工艺相比, 具有如下特点。

(1) 设备简单。不需要用大型的设备及专用机床、烘箱等。

(2) 工艺简便、易于掌握。塑料火焰喷涂工艺程序简单, 工艺连续性要求低, 工艺参数少, 操作人员只需经短时间训练, 就可掌握, 经几次试验, 可制定出合理的工艺规范。

(3) 材料来源丰富。塑料火焰喷涂的主要材料是材料粉, 其他必要的辅助材料也不多, 有的场合下, 可以用塑料材料替代所需的贵金属, 如铜、铬、镍等。





(4) 生产效率高。塑料火焰喷涂的生产效率比电镀高十几倍到几十倍,而且喷涂前一般不需进行车、磨等机械加工,从而缩短了加工时间。

(5) 对工件的热影响小。塑料喷涂时工件的加热温度一般为  $130\sim 250^{\circ}\text{C}$ ,在这个温度范围内,工件的热处理特性一般不会改变。此外,与堆焊相比,塑料火焰喷涂对工件的影响很小,可以有效地防止工件的热变形。而小型工件在堆焊时,却往往容易发生变形。

(6) 应用范围广。利用塑料火焰喷涂可在钢、铸铁、铜或铝等金属工件表面,形成厚度为  $0.1\sim 0.5\text{mm}$  的覆盖层,可以用于动配合、静配合或起密封和防漏、防腐作用。

(7) 喷涂层性能优良。塑料喷涂层的抗冲击强度、抗剪切强度、韧性、抗反复变形的疲劳强度都优于环氧树脂胶接。塑料喷涂层耐腐蚀性能很好,一般金属达不到。它还具有良好的吸音,绝热和电气绝缘性能,可以用在各种有特殊要求的场合。塑料喷涂层又有优良的机械加工性能,可以进行多种形式的机械加工,因此工件的尺寸和几何形状易于保证。此外若在塑料喷涂层中加入各种改性材料,即可显著地改善喷涂层某一方面的物理机械性能,如增加强度、增加耐磨性、增加导热性能等。

(8) 成本低。塑料火焰喷涂的成本约为金属涂料的  $1/8\sim 1/6$ ,约为振动堆焊的  $1/5\sim 1/3$ ,约为镀铬的十几分之一到几十分之一。

(9) 操作条件好。塑料火焰喷涂一般不会产生一氧化碳、臭氧及酸碱等有害气体,也不会产生弧光、紫外线等有害射线,因此,不会污染环境和危害操作人员。

## 2. 火焰喷涂的流程

火焰喷涂的一般流程为:待喷表面的除油和清洗→待喷表面的喷砂→火焰预热待喷表面→喷涂塑料涂层→降低或消除应力处理→冷却清洗(待喷表面的除油和清洗应视零件的具体情况而定,一般分为粗洗和精洗,常用丙酮清洗;待喷表面的喷砂应用喷射式喷砂枪,压缩空气的压力为  $0.4\sim 0.7\text{MPa}$ ,砂为锐利的白刚玉,粒度为 20 目,待喷表面的喷砂应仔细进行,直至待喷表面呈均匀的银白色;预热目的是提高涂层结合力)。

## 3. 火焰喷涂的应用

(1) 恢复磨损零件的尺寸。各种轴类零件安装滚动轴承的部位、箱壳体的轴承座孔、调速器推力盘等磨损后,可在磨损部位喷涂尼龙或塑料覆盖层,以恢复其磨损部位的尺寸。

(2) 用于轴承的减磨材料。在各种滑动轴承和滑动配合件的表面喷涂尼龙层,可以有效地改善轴承的工作性能。同时,由于尼龙有良好的柔性,可以减小应力集中,使负荷分布均匀,从而达到减小振动和减小噪声的效果。在实际工作中,对于动配合件,常把恢复磨损尺寸与喷涂减磨层结合起来,使喷涂层同时起到两个作用。如修复曲轴轴瓦、凸轮轴轴套、水泵轴承、机床导轨等。

(3) 修复腐蚀、穴蚀(汽蚀)零件。发动机汽缸套、水套等长期与水接触,特别是在沿海地区,海水中含盐成分高,腐蚀和穴蚀的现象十分严重。就是一般的水泵叶轮和泵壳,在工作中也会发生汽蚀现象。在这些零件表面喷涂塑料覆盖层,就可以延长零件的寿命。此外,在船壳、机耕(滚)船的入水部分喷涂塑料覆盖层也可以收到良好的防腐效果。

(4) 作为密封材料。油泵的壳体密封、油泵轴的油封部位、气泵的分配阀盘面以及各种锥形、柱形和平面阀门的密封面,都可以喷涂尼龙或塑料。喷涂尼龙或塑料后,不必磨削,只需车削,就可以达到技术要求。

(5) 粘补破损部位。对于在铸铁时留了气孔或质地疏松而造成漏油、漏水的金属箱体、机体,可在缺陷部位喷涂,用来堵塞洞孔和窝眼,如用于气管、水管、油管的堵漏。

(6) 绝缘涂层。大型整流器、电焊机、启动电动机的导线都比较粗大,绝缘损坏后,也可以用喷涂覆盖层的方法来修复。对于某些局部需要绝缘的工件,塑料喷涂就更为适合。此外塑料喷涂在高频、高压的场合下,也可以应用。

(7) 减振、吸音材料。振动式送料机构工作时噪声很大,工作环境恶劣,操作人员也很容易疲劳。为此,可在送料机构与工件接触的部位喷涂覆盖层,这样可以显著地减小噪声并改善工作条件。

(8) 绝热材料。某些风动工具,操作人员在接触压缩空气流通管道时会感到很冷,尤其在冬季,操作人员甚至会被冻伤。如果在人手接触的部位喷涂尼龙或塑料覆盖层,就可以大大减轻冷冻对操作人员的危害。

(9) 造纸业大小轴及轴套、大小导轮,均可应用塑料喷涂工艺。

(10) 储油、酸、碱、盐及化工容器大小缸体,均可采用塑料喷涂工艺。

(11) 沿海用设备防腐、矿用设备防腐、结构件防腐等,均可采用塑料喷涂工艺。

### 4. 火焰喷涂的材料应用

(1) 聚乙烯(PE)。聚乙烯为白色透明物质,外观似石蜡,可着色,可弯曲,稍具延伸性。聚乙烯是乙烯的高分子聚合物,因生产方法不同,产品分为高密度HDPE(低压 0.9411~0.965)、中密度MDPE(中压 0.926~0.940)和低密度LDPE(高压 0.910~0.025)。三者性质相似,但高密度聚乙烯在无负载和短期内耐温较高(HDPE 为 100℃,LDPE 为 75℃),高密度聚乙烯最高使用温度为 70℃,低密度聚乙烯为 60℃,聚乙烯最低使用温度为-70℃。通常,聚乙烯随密度增加,抗张强度、硬度、耐热性均增高。聚乙烯有优良的耐蚀性,对非氧化性酸(如盐酸、稀硫酸、氢氟酸)、稀硝酸、碱、油(冷)和盐溶液都有良好的耐蚀性,能耐极性有机物(醇、酮)、水。在室温下耐一般溶剂,但在 60℃以上溶于芳烃、氯化溶剂及熔蜡中,有些溶剂能使其溶胀。聚乙烯不耐浓硝酸、浓硫酸和其他强氧化剂的腐蚀。



(2) 尼龙(聚酰胺)。尼龙是一种应用很广的热塑性塑料,最高应用温度为  $80\sim 120^{\circ}\text{C}$ ,最低使用温度为  $-50\sim -60^{\circ}\text{C}$ 。尼龙具有良好的耐蚀性,十分耐碱和大多数盐水、稀酸,但不耐强酸和氧化性酸的腐蚀。对烃、酮、酯、油类抗蚀能力良好,不耐酚和甲酸的腐蚀。尼龙强度高,坚韧、耐磨损,有润滑作用,所以常用做耐磨涂层,如印刷机械中的钢制墨辊、车床导轨、润滑涂层(如轴承)等。尼龙对生物侵蚀是惰性的,无毒。耐细菌作用,可用做食品和牛奶等容器表面涂层。火焰喷涂常用的尼龙粉末有尼龙 11、尼龙 12、尼龙 1010 及一些二元、三元共聚尼龙,尼龙层与金属附着力好。

(3) 聚丙烯。聚丙烯是丙烯的高分子量聚合物,外观似聚乙烯但比聚乙烯更轻更透明。聚丙烯密度低( $0.90\text{g}/\text{cm}^3$ ),耐蚀性和聚乙烯相似,且较低,应用温度范围为  $-14\sim +120^{\circ}\text{C}$ 。除浓硝酸,发烟硫酸、氯磺酸等强氧化性酸外,能耐大多数的有机和无机酸、碱和盐,对应力腐蚀破裂的抗蚀性良好。 $80^{\circ}\text{C}$ 以下能耐有机溶剂,但能被某些强有机溶剂破坏。聚丙烯强度高于聚乙烯,软化点较高( $180^{\circ}\text{C}$ )。硬度接近尼龙,刚性好,常温下耐冲击性能良好。耐温性高,在低应力下可长期使用于  $110\sim 120^{\circ}\text{C}$  的环境中。

(4) 聚苯硫醚(PPS)。聚苯硫醚通常指对苯基硫的聚合物。交联前是一种线形结构,呈热塑性,是一类具有支链、无结晶熔点、高黏度聚合物,交联后呈热固性,若予以充分加热,就能软化到一定程度,因此并非真正热固性塑料。聚苯硫醚密度  $1.36\text{g}/\text{cm}^3$ ,熔点  $288^{\circ}\text{C}$ ,是一种硬而脆、热稳定性优良的热塑性塑料,同时它具有优良的电绝缘性和黏结性,适当的强度,应用温度范围为  $-148\sim +250^{\circ}\text{C}$ 。聚苯硫醚的化学惰性及耐高温性使它成为良好的耐腐蚀涂层。聚苯硫醚防腐涂层可耐  $170^{\circ}\text{C}$  下的各种溶剂,  $200^{\circ}\text{C}$  下的各种酸、碱、盐和化学药品。但易受卤素和氧化性介质(如游离氯、溴、硝酸、过氧化氢)等腐蚀。聚苯硫醚的熔区宽( $300\sim 420^{\circ}\text{C}$ ),故有良好的流动性,且无毒、不燃。与金属的粘接力强,是一种良好的耐腐蚀涂层。

(5) 氯化聚醚。氯化聚醚是线形、高结晶度的热塑性塑料,具有较高的熔点( $180^{\circ}\text{C}$ ),优良的耐热、耐腐蚀性能以及良好的机械性能和电性能。抗冲击强度高,耐磨性和尺寸稳定性优良,吸水性小。应用温度范围为  $-30\sim +120^{\circ}\text{C}$ 。氯化聚醚的耐蚀性仅次于聚四氟乙烯,可与聚三氟氯乙烯媲美,除强氧化性酸如浓硫酸、浓硝酸外,能耐各类酸、碱、盐及大多数有机溶剂的腐蚀,不耐液氯、氟、溴的腐蚀。氯化聚醚的导热系数低于大多数耐腐蚀热塑性塑料,适宜用做绝热材料。

(6) EVA(乙烯-醋酸乙烯酯共聚物)。EVA 是乙烯与醋酸乙烯酯(VA)的共聚物,是一种具有橡皮似弹性的热塑性塑料。EVA 的性能与醋酸乙烯酯的含量有很大的关系,VA 越少,越像低密度聚乙烯,而 VA 越多越像橡皮。EVA 在较广的温度范围( $-45\sim 70^{\circ}\text{C}$ )质坚韧,加入填料能使刚性和硬度提高。填料增多,对其主要性能影响不大,耐紫外光及臭氧。EVA 熔点低( $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ ),密度为( $0.93\sim 0.95$ ) $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

施工方便, 化学物理性能良好, 耐稀酸、浓碱, 不耐浓酸, 50℃以上能溶于芳烃及氯化溶剂中。耐候性优于聚乙烯。EVA 还有良好的抗霉菌生长的特性, 可用做食品容器防护涂层。

(7) 氟塑料。氟塑料是各种含氟塑料的总称, 由含氟单体如四氟乙稀、六氟丙烯、三氟氯乙烯、偏氟乙烯、氟乙烯及乙烯等单体通过均聚或共聚反应制得, 按数量及用途来说, 以聚四氟乙烯(F4)最为重要。其他还有聚三氟氯乙烯(F3), 聚全氟代乙丙烯(F46)等。

氟塑料具有优良的电绝缘性能, 摩擦系数极低, 与其他物质亲和力最小, 具有优良的抗黏性。尤其是其化学性能优异, 热稳定性好, 如F4, 除了金属钠、氟元素及其化合物对它有侵蚀作用外, 其他诸如强酸、强碱、油脂、去污剂及有机溶剂等化学药品均对它不起作用。使用温度范围为-200~+260℃, 为抗蚀性最好的塑料。氟塑料本身无毒, 但遇热分解时, 则产生剧毒, 所以应特别注意。

(8) 环氧树脂和环氧粉末涂料。环氧树脂是环氧基的高分子聚合物的通称, 未固化前它属于热塑性树脂, 加入固化剂后能发生一系列交联反应, 形成具有附着力极佳、坚韧度和抗化学性能均好的热固性树脂, 环氧树脂能耐一般溶剂, 耐稀酸、稀碱、强碱, 不耐强氧化剂如硝酸、浓硫酸等的腐蚀, 耐水性非常好, 最高使用温度为90~100℃(一般型)、150℃(耐热型)。在热固性粉末涂料中, 环氧粉末涂料是首先应用的一个品种, 也是粉末涂料中, 销售量占首位的品种。环氧粉末涂料有有光、半光、无光环氧粉末涂料(普通型)和防腐型环氧粉末涂料之分。普通环氧粉末密度为(1.5~1.8) g/cm<sup>3</sup>, 熔点为85~95℃。

(9) 环氧/聚酯粉末涂料; 环氧/聚酯粉末是由环氧、聚酯为主要原料的热固性粉末涂料, 比环氧粉末具有更好的装饰性、耐候性。环氧/聚酯粉末密度为1.4~1.8g/cm<sup>3</sup>, 熔点为85~95℃。

### 6.3 电镀

电镀(Electroplating)被定义为一种电沉积过程, 就是利用电解的方式使金属附着于物体表面, 以形成均匀、致密、结合力良好的金属层。简单地理解, 电镀是物理和化学的变化或二者的结合, 是在含有欲镀金属的盐类溶液中, 以被镀基体金属为阴极, 通过电解作用, 使镀液中欲镀金属的阳离子在基体金属表面沉积出来形成镀层的一种表面加工方法。镀层性能不同于基体金属, 具有新的特征。根据镀层的功能分为防护性镀层、装饰性镀层及其他功能性镀层, 其目的是在改变物体表面之特性或尺寸, 例如赋予产品以金属光泽而使其美观大方。

对于塑料电镀, 国际上在20世纪50年代已形成规模生产, 我国在20世纪60~80年代也实现了工业化, 当时主要用于纽扣、带扣等小产品, 要求镀层不脱皮、表面像金属一样即可。初期的塑料电镀由于工艺过程过于复杂而又欠稳定, 其应用受到一定限制。但是, 经过电镀工程技术人员努力, 解决了从粗化、活化到化学镀等各关键工序的溶液稳定性并使生产效率大大提高以后, 塑料电镀的应用就不断扩



大起来，由原来的小件、少量的应用发展到大件、大量的使用；从家电产品到汽车配件、建筑装饰；从装饰性用途到功能和工程性用途等。随着以电子类产品为主的各类产品的小型化和轻量化，使塑料电镀满足这些要求的优势充分得以发挥，进一步拓展了塑料电镀的应用领域。

电镀的目的是在基材上镀上金属镀层，改变基材表面性质或尺寸。例如赋予金属美观光泽，物品的防锈，防止磨损，提高导电性、润滑性、强度、耐热性、耐候性，热处理中防止渗碳、氮化，尺寸错误或磨损时零件的修补。

## 1. 塑料电镀的应用领域

(1) 汽车及其他交通工具类。在汽车追求轻量化而又豪华美观的发展过程中，塑料电镀起到了至关重要的作用，车门拉手、汽车商标、标徽、车内饰、反光镜、表盘装饰、操作杆头、方向盘装饰、高级车轮壳罩等，都在大量采用塑料电镀制品。

(2) 电子电器类。这是比汽车更大的一个装饰性塑料和树脂电镀的应用领域。从家用电器的装饰拉手、外框、旋钮、提手、罩盖到商标、铭牌、刻度板、压条、机壳等都在大量采用塑料电镀技术。现在流行的手机的外壳、MP3 外壳、U 盘外壳、笔记本电脑外壳等，都有采用塑料电镀配件的例子。这种应用不仅降低了产品的重量和成本，而且又有金属装饰的效果。由于表面镀上了一层金属镀层，还兼有电磁屏蔽或提高强度、增加散热性等功能性作用。

(3) 家庭用品、家装类。除了家用电器，家庭用品中还有许多产品可以用到塑料和树脂电镀技术。比如镜框、水瓶壳、盖子、挂钟、台历板、家具把手、相框等。现在更发展到卫浴用品的花洒、水龙头、水具等。这类产品也如汽车配件一样，形成了专门的加工产业，从模具的定制到注塑成型，然后电镀。有些生产厂商更是直接面对市场，使其成本进一步下降。有些产品所采用的材料也从批量的注塑加工发展到个性化的热固型树脂手糊产品。从而在这方面开拓出新的市场。

(4) 文具用品类。文具用品主要是圆珠笔、钢笔类产品的笔杆、笔套，小型计算器的外壳、打印机的附件、复印机附件等。由于是消耗性产品，所以用量也是较大的。

(5) 建筑装饰类。建筑装饰现在已经是建筑物的重要组成部分，其所占建筑的总费用的比率在不断增长，有些已经占到建筑总费用的一半以上。因此，无论是从经济效益的角度还是提高建筑安全性能的角度，采用轻质非金属材料制作建筑装饰件都是十分有利的事。

(6) 工艺品和艺术品类。采用玻璃钢制作雕塑工艺品已经有多年的历史，且经久不衰。这种工艺品以彩绘作为表面装饰，可制作各种小型雕塑工艺品，从中国的十二生肖到外国的圣诞老人、神话人物，从工艺钟表的工艺钟座，到仿古铜工艺台灯座，应有尽有。许多经高明的雕塑家制作的人物、动物经表面电镀后，以青铜、

古铜、古银等表面效果加以装饰,更为深动感人。这都是因为在开发出塑料和玻璃钢电镀技术以后,增强了这类雕塑工艺品的表现手法和艺术效果。

### 2. 电镀件的结构设计注意事项

(1) 基材最好采用电镀级 ABS 材料,ABS 电镀后覆膜的附着力较好,同时价格也比较低廉。

(2) 塑件表面质量一定要非常好,电镀无法掩盖注塑的一些缺陷,而且通常会使得这些缺陷更明显。

(3) 电镀件镀层厚度对配合尺寸的影响。电镀件的厚度按照理想的条件会控制在 0.02mm 左右,但是在实际的生产中,可能最多会有 0.08mm 的厚度,所以在有滑动配合的位置上,单边的间隙要控制在 0.03mm 以上,才能达到满意的效果,这是对电镀件配合时需要关注的。

(4) 表面凸起最好控制在 (0.1~0.15) mm/cm, 尽量没有尖锐的边缘。

(5) 如果有盲孔的设计,盲孔的深度最好不超过孔径的一半,否则放弃对孔的底部做色泽的要求。

(6) 要采用适合的壁厚防止变形,最好在 1.5~4mm,如果需要很薄的话,要在相应的位置做加强的结构来保证电镀的变形在可控的范围内。

(7) 在设计中要考虑到电镀件变形,由于电镀的工作条件一般在 60~70℃ 的温度范围下,在吊挂的条件下,如果结构不合理,变形的产生就难以避免,所以在塑件的设计中对水口的位置要予以关注,同时要有合适的吊挂的位置,防止在吊挂时对有要求的表面带来伤害。另外最好不要在塑件中有金属嵌件存在,由于两者的膨胀系数不同,在温度升高时,电镀液体会渗到缝隙中,对塑件结构造成一定的影响。

(8) 要避免采用大面积的平面。塑料件在电镀之后反光率提高,平面上的任何凹坑、局部的轻微凹凸不平都会变得很敏感,最终影响产品效果。这种零件可采用略带弧形的造型。

(9) 要避免直角和尖角。初做造型和结构的设计人员往往设计出棱角的造型,但是,这样的棱角部位很容易产生应力集中而影响镀层的结合力。而且,这样的部位会造成结瘤现象。因此,方形的轮廓尽量改为曲线形轮廓,或用圆角过渡。造型上一定要求方的地方,也要在侧切角和棱的地方倒圆角 ( $R=0.2\sim0.3$  mm)。

(10) 不要有过深的凹部,不要有小孔和盲孔,这些部位不仅电镀困难,而且残存溶容易液污染下道工序的溶液。像旋钮和按钮不可避免的盲孔,应从中间留缝。

(11) 要考虑留有时装挂的结点部位。结点部位要放在不显眼的位置,可以用挂钩、槽、缝和凸台等位置做接点。

(12) 厚度不应太薄,也不要突变。太薄的零件在电镀过程中受热或受镀层应力的影响容易变形,厚度的突变容易造成应力集中,一般来说厚度差不应超过两倍。



(13) 标记和符号要采用流畅的字体,如圆体、琥珀体、彩云体等,因为多棱多角不适于电镀。流畅的字体容易成型,电镀后外观好。文字凸起的高度以 0.3~0.5mm 为宜,斜度通常采用 65°。

(14) 如果能够采用皮纹、滚花等装饰效果就要尽量采用,因为降低电镀件的反光率有助于掩盖可能产生的外观缺陷。

(15) 尽量不要采用螺纹和金属嵌件,以免电镀时为保护螺纹、嵌件而增加工序。

### 3. 特殊电镀的实现

**混合电镀:**在塑料产品的电镀处理工艺中,常常采用高光电镀和蚀纹电镀的效果共同作用在一个制品上得到特殊的设计效果。设计要求如下。

(1) 通常在设计中建议采用较小细纹的蚀纹电镀,以保证良好的工艺效果。

(2) 在实际应用过程中,为了保证蚀纹的效果不被镀层所掩盖,有时会电镀两层后就不进行电镀。而这样的工艺将会导致电镀第二层的镍会比较容易氧化变色,影响设计的效果。

**局部电镀:**在塑料产品的电镀处理工艺中,常常要求在塑件表面的不同部位实现不同的工艺效果,以增强产品的附加价值。如图 6-25 所示为塑料制品局部电镀。设计要求如下。

(1) 拆分成小零件。不同的效果部位分别做成一个小零件,在电镀工艺处理完成后装配在一起。



图 6-25 塑料制品局部电镀

(2) 加绝缘油墨。在不影响外观前提下的局部电镀,通常可以采用加绝缘油墨后进行电镀的方法进行加工,通过在制品上喷涂绝缘油墨使得金属电镀无法覆盖。在另外的情况下也经常用到,类似于 PDA 这类轻巧的制品,一般电路板直接固定

在塑料壳体上,为了防止对电路的影响,通常对同电路有接触的部分均进行绝缘处理,这时多采用油墨的方式在电镀前对局部在进行处理。

(3) 借用双色注塑的工艺。一般如果有双色注射机,可以将 ABS 和 PC 分不同的阶段注塑,制成塑件后进行电镀处理,在这样的条件下,由于两种塑料对电镀液的不同附着力导致 ABS 的部分有电镀的效果而 PC 的部分没有电镀的效果,从而达到设计要求。

(4) 二次注塑。采用将制品分成两个部分,首先将一个部分进行注塑后进行电镀处理,将处理后的制品再装入另外一套模具中进行二次注塑得到最终的制品。

### 4. 影响电镀质量的因素

影响电镀质量的因素很多,包括镀液的各种成分以及各种电镀工艺参数,以下介绍影响的主要因素。

(1) pH 值的影响。镀液中的 pH 值可以影响氢的放电电位,碱性夹杂物的沉淀还可以影响络合物或水化物的组成以及添加剂的吸附程度。但是,对各种因素的影响程度一般不可预见。最佳的 pH 值往往要通过试验决定。在含有络合剂离子的镀液中, pH 值可能影响存在的各种络合物的平衡,因而必须根据浓度来考虑。电镀过程中,若 pH 值增大,则阴极效率比阳极效率高, pH 值减小则反之。通过加入缓冲剂可以将 pH 值稳定在一定范围。

(2) 添加剂的影响。镀液中的光亮剂、整平剂、润湿剂等添加剂能明显改善镀层组织。对此添加剂有无机和有机之分。无机添加剂起作用的原因是由于它们在电解液中形成高分散度的氢氧化物或硫化物胶体,吸附在阴极表面阻碍金属析出,提高阴极极化作用。有机添加剂起作用的原因是这类添加剂多为表面活性物质,它们会吸附在阴极表面形成一层附膜,阻碍金属析出,因而提高阴极极化作用。另外,某些有机添加剂在电解液中形成胶体,会与金属离子络合形成胶体-金属离子型络合物,阻碍金属离子放电而提高阴极极化作用。

(3) 电流密度的影响。任何电镀都必须有一个能产生正常镀层的电流密度范围。当电流密度过低时,阴极极化作用较小,镀层结晶粗大,甚至没有镀层。随着电流密度的增加,阴极极化作用增加,镀层晶粒越来越细。当电流密度过高,超过极限电流密度时,镀层质量开始恶化,甚至出现海绵体、枝晶状、烧焦及发黑等。电流密度变化的上限和下限是由电镀液的本性、浓度、温度和搅拌等因素决定的。一般情况下,主盐浓度增大,镀层温度升高,以及有搅拌的条件下,可以允许采用较大的电流密度。

(4) 电流波形的影响。电流波形的影响是通过阴极电位和电流密度的变化来影响阴极沉积过程的,它进而影响镀层的组织结构,甚至成分,使镀层性能和外观发生变化。实践证明,三相全波整流和稳压直流相当,对镀层组织几乎没有什么影响,而其他波形则影响较大。





(5) 温度的影响。镀液温度的升高能使扩散加快,降低浓差极化,此外,升温还能使离子的脱水过程加快。离子和阴极表面活性增强,也降低了电化极化,导致结晶变粗。另一方面,温度升高能增加盐类的溶解度,从而增加导电和分散能力;还可以提高电流密度上限,从而提高生产效率。

(6) 搅拌的影响。搅拌可降低阴极极化,使晶粒变粗,但可提高电流密度,从而提高生产率。此外,搅拌还可增强整平剂的效果。

## 6.3.1 喷镀

喷镀像电镀或蒸镀一样,是在树脂等表面镀上金属薄膜的方法之一。喷镀是让加速离子与金属发生碰撞,在反作用力的作用下使释放出的金属原子附着在树脂的表面。尽管喷镀与蒸镀在技术上非常相似,但蒸镀是在减压容器内,使加热、蒸发的金属蒸气附着在树脂表面由于金属原子的能量低于蒸镀能量,即使是耐热性较差的树脂材料,在其表面亦可生成稳定性良好的金属薄膜。此外,还可生成合金、高熔点的金属膜。如图 6-26 所示为喷镀过程示意图,喷镀工艺如下。

- (1) 脱脂处理,采用丙酮或酒精进行清洗。
- (2) 表面处理,采用电晕放电处理、紫外线照射处理等。
- (3) 底面涂布/硬化处理,采用藤仓化成(株)EXP1440A 等。
- (4) 喷镀工艺,电极所用材料为 Al、SUS304,以及其他特殊材料等。
- (5) 表面涂布/硬化处理,采用 EXP1506、ET5406A 等。

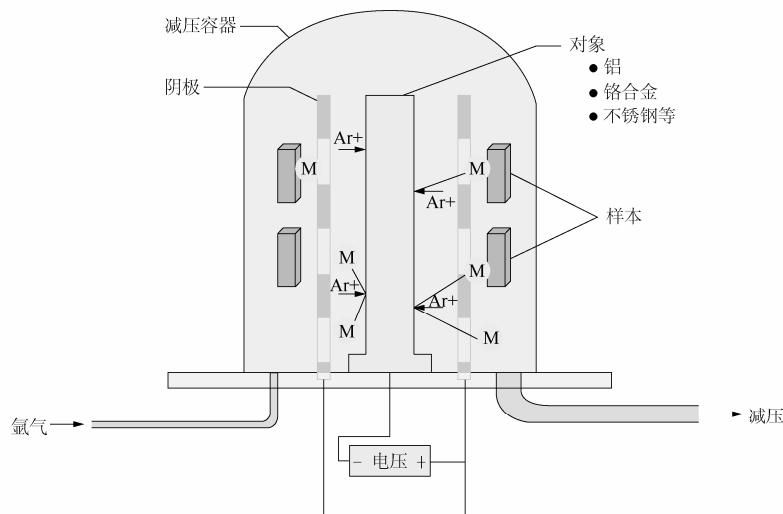


图 6-26 喷镀过程示意图

## 6.3.2 真空镀

真空镀是指在高真空下为金属加热,使其熔融、蒸发,冷却后在样品表面形成金属薄膜的方法。真空镀主要包括真空蒸镀、溅射镀和离子镀几种类型,它们都是

采用在真空条件下，通过蒸馏或溅射等方式在塑件表面沉积各种金属和非金属薄膜，通过这样的方式可以得到非常薄的表面镀层，同时具有速度快附着力好的突出优点，但是价格也较高，可以进行操作的金属类型较少，一般用做较高档产品的功能性镀层，例如，作为内部屏蔽层使用。真空蒸镀过程中金属（最常用的铝）的熔融，蒸发仅需几秒钟，整个周期一般不超过 15s，镀层厚度为  $0.8\sim 1.2\mu\text{m}$ 。如图 6-27 所示为把手真空镀效果图。



图 6-27 把手真空镀效果图

设计真空镀塑料制品应避免大的平坦表面、锐角和锐边，凹凸图案、纹理或拱形表面效果最佳。真空蒸镀很难获得光学平面样制品表面。真空镀相比于水镀，其表面硬度较低、污染较小、不导电、镀层附着力小。目前水电镀在重工业上应用较多（汽车等），而真空电镀则广泛应用于家用电器、化妆品包装。如图 6-28 所示为真空镀工艺原理图。

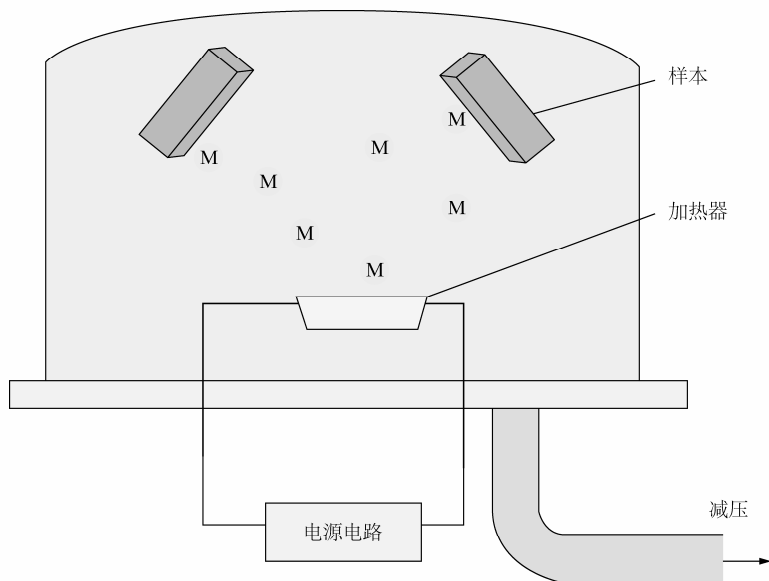


图 6-28 真空镀工艺原理图



## 1. 真空镀技术的优点

塑料产品表面在经过真空镀之后,可使塑料表面金属化,将有机材料和无机材料结合起来,大大提高了它的物理、化学性能,主要表现在以下几方面。

(1)改善塑料制品表面美观。使表面光滑,金属光泽彩色化,装饰性大大提高。

(2)改善表面硬度。原塑料表面比金属软而易受损害,通过真空镀膜,硬度及耐磨性大大增加。

(3)提高耐候性。一般塑料在室外老化很快,主要原因是紫外线照射所致,而镀铝后,铝对紫外线反射最强,因此耐候性大大提高。

(4)减少吸水率。镀膜次数越多,针孔越少,吸水率降低,制品不易变形,提高耐热性。

(5)经过电镀的制品表面容易清洗,不吸尘。

## 2. 真空镀技术流程

(1)来料检验(必要流程)。将来料作初期检验;清点数量。

(2)超声波清洗(视产品而定)。将来料清洗表面油斑与灰尘;清点数量。

(3)人工装配(视产品而定)。将产品表面不需电镀部分用美纹胶纸贴遮;清点数量。

(4)制品上架(视产品而定)。将产品固定在挂具上,以便电镀。

(5)静电除尘(必要流程)。将产品表面灰尘吹干净;消除素材内部静电。

(6)喷底漆前擦拭(必要流程)。将产品表面灰尘擦拭干净;将产品表面手汗擦拭干净。

(7)喷底漆(必要流程)。将产品表面均匀喷涂真空底漆;将喷枪开关半压,只喷出空气吹拂产品表面除尘。

(8)烘烤(必要流程)。将产品设定在“最适”的温度与时间进行烘烤;将空底漆烘烤至干。

(9)真空镀膜(必要流程)。将产品表面进行“物理蒸煮”金属与非金属材质;可在产品上蒸镀铝、铜、铬、镍等金属或二氧化矽等非金属材质。

(10)喷面漆(必要流程)。将蒸镀过后的产品表面喷涂真空面漆,从而获得喷涂效果和防止氧化;将蒸镀过后的产品表面上色。

(11)烘烤(视产品而定)。将喷涂面漆过后的产品进行烘干。

(12)包装前测试(必要流程)。包装前进行“耐酒精测试”与“附着力测试”。

(13)包装前外观检查(必要流程)。针对不同产品、不同客户、不同要求在包装前进行检验。

(14)包装(必要流程)。将产品表面的胶纸撕除;包装前再次对表面品质进行检验。

## 6.3.3 水电镀

水电镀一般适用于ABS料、ABS+PC料的产品,主要工艺是将需电镀的产品放入化学电镀液中进行电镀。

根据客户的不同需要，可镀成不同的颜色，如高光银色、亚银色、灰银色。因为电镀后的产品其导电性显著增强，对于某些需绝缘的部件怎么办？办法有两种。其一，在需绝缘的部位涂上绝缘油，该部位在电镀时就不会被电镀到，从而达到绝缘效果，当然，涂了绝缘油的部位会变黑，就不适宜作为外观面了；其二，在需电镀的部位用特殊的胶纸贴住，保护起来，同样达到绝缘的效果，水电镀技术流程如下。

（1）脱脂（除油）：除去零件在模压、存放、运输的过程中沾上的油污，一般使用含有除油粉的水溶液中浸泡，溶液要适当加温和搅拌以加快出油速度。

（2）粗化：提高零件表面的亲水性并形成适当的粗糙度，以保证镀层良好的结合力。一般针对 ABS 材质使用较为广泛的是高铬酸型溶液。

（3）中和、还原或浸酸：将残留在零件表面的粗化液清洗干净，以防止污染下一工序，一般使用盐酸水溶液。

（4）活化：目前使用较为广泛的是胶态钯活化工艺，使得敏化活化一步完成。它的主要作用是在零件表面形成一层不连续的、有催化活性的贵金属层，作为化学镀中引发金属沉积的活化中心，使得化学镀能自发进行。

（5）解胶：胶态钯活化后的零件表面吸附的是胶态钯微粒，它没有催化活性，必须把它周围吸附的二价锡水层除去露出钯粒子，通常使用酸或碱溶液。

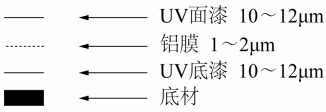
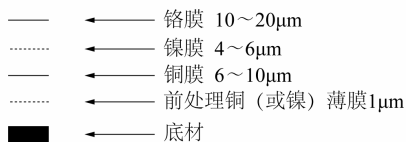
（6）化学镀：化学镀分化学镀镍、化学镀铜、化学镀银等，塑料电镀一般采用化学镀镍，这一工序的主要作用是利用钯粒子的活化作用在零件表面沉积一层镍导电层，使得后续的电镀作业能够进行。

（7）电镀铜：其作用主要是提高镀层的抗热冲击性能和延展性。目前电镀铜主要有两种工艺：光亮酸性铜工艺和焦磷酸盐镀铜工艺，两种方式各有优劣。

（8）电镀镍：防止铜镀层生锈，增加镀层的硬度和耐磨性。为得到不同的表面效果，电镀镍可以分为以下几种方式：光亮镍、无光镍、多层镍等。

（9）电镀铬：增加镀层在空气中的稳定性，进一步增加镀层的硬度和耐磨性。UV 真空电镀与水电镀比较见表 6-3。

表 6-3 UV 真空电镀与水电镀比较

工 艺	UV 真空电镀	水 电 镀
原理	 —— ← UV面漆 10~12μm ····· ← 铝膜 1~2μm —— ← UV底漆 10~12μm ■ ← 底材	 —— ← 铬膜 10~20μm ····· ← 镍膜 4~6μm —— ← 铜膜 6~10μm ····· ← 前处理铜（或镍）薄膜1μm ■ ← 底材
涂层整体厚度	20~25μm	20~30μm
镀膜	一般用铝，对镀膜材质限制较小	一般只有铜、镍、铬等少数金属
外观效果	较闪光、色较亮	较平坦，色较暗
适合底材	大多数塑料都可以进行真空电镀	推荐使用电镀级 ABS

续表

工 艺	UV 真空电镀	水 电 镀
适合塑件外形	较细件，弯位较小	较大件，弯位较多
前处理	超声波清洗	超声波清洗
	一般需喷底漆及面漆（一般为 UV）	需做一系列化学前处理
	需做 MARK 治具	对不需电镀的区域用绝缘漆涂盖
生产率	20～30min	1～2h
	全自动生产线	不能全自动化
表面加色	面漆加色精，无须额外工序	需要额外工序：（1）电泳漆，（2）双组分 PU 漆
价格	便宜	贵
对环境污染	较轻微	较严重

6.3.4 电镀效果展示

**高光电镀：**注塑出的塑件采用光铬处理后得到的效果，高光电镀效果的实现通常要求模具表面良好抛光。图 6-29 所示为塑料水龙头高光电镀效果。

**亚光电镀：**注塑出的塑件采用亚铬处理后得到的效果，亚光电镀效果的实现通常要求模具表面良好抛光。图 6-30 所示为圆珠笔亚光电镀效果。



图 6-29 塑料水龙头高光电镀效果



图 6-30 圆珠笔亚光电镀效果

**珍珠铬：**注塑出的塑件采用珍珠铬处理后得到的效果，珍珠铬电镀效果的实现通常要求模具表面良好抛光。图 6-31 所示为智能门锁珍珠铬电镀效果。

**蚀纹电镀：**蚀纹电镀效果的实现通常要求模具表面处理出不同效果的蚀纹方式后，注塑出的塑件采用光铬处理后得到。图 6-32 所示为蚀纹电镀效果。

**局部电镀：**通过采用不同的方式使得成品件的表面局部没有电镀的效果，与有电镀的部分形成反差，形成独特的设计风格。图 6-33 所示为局部电镀效果。



图 6-31 智能门锁珍珠铬电镀效果



图 6-32 蚀纹电镀效果



图 6-33 局部电镀效果

**彩色电镀：**通过采用不同的电镀溶液，在电镀后塑件表面沉积的金属会反射出不同的光泽，形成独特的效果，如图 6-34 所示。



图 6-34 彩色电镀效果

6.3.5 电镀层的选择

电镀层的使用目的、厚度的选择以及电镀层的要求见表 6-4。

表 6-4 电镀层使用目的、厚度选择及要求

电镀层使用目的	电镀层的厚度选择	电镀层的要求
(1) 保护金属零件表面，防止腐蚀  (2) 装饰零件外表，使外表美观  (3) 提高零件的工作性能	(1) 零件的工作环境  (2) 被镀零件的种类、材料和性质  (3) 电镀层的性质和用途  (4) 零件的结构、形状和尺寸的公差  (5) 镀层与其互相接触金属的材料、性质	(1) 镀层与基体金属、镀层与镀层之间，应有良好的结合力  (2) 镀层应结晶细致、平整、厚度均匀  (2) 镀层应具有规定的厚度和尽可能少的孔隙  (4) 镀层应具有规定的各项指标，如光亮度、硬度、导电性等

电镀层的类别、特性与用途见表 6-5。

表 6-5 电镀层类别、特性与用途

镀层系列	镀层类别	特性和用途	备 注
防护装饰性镀层	铜、镍、铬及铜-镍-铬复合镀层	镀铜层结构细密，结合力好，性质柔软，容易抛光。在大气中易受腐蚀介质的侵蚀 镀镍层外观好，机械性能和耐蚀性能均优良。但镀层多孔，容易产生针孔腐蚀。不同含硫量的双层镍、三层镍能有效地提高防护性能 在铜-镍底层上镀一层 0.5μm（超过此厚度易产生裂纹）的铬，可获得美丽的装饰外观。采用微裂纹镀铬或微孔镀铬工艺，可提高整个组合镀层的防护性 铜：（1）用做铜-镍-铬组合镀层的底层 （2）镀铜防止钢铁局部渗碳和渗氮 （3）镀覆电器灭弧栅片，印制电路和电铸模等 镍：常用件铜-镍-铬组合镀层中的中间层，也可单独用做防护-装饰性镀层，其厚度要足以防止有针孔用作机械、电器、医疗械和日用五金的防护、装饰	在广州和海南岛地区室外大气腐蚀试验表明，铜-镍-铬组合镀层达 45μm 以上，可保持三年而基体金属不产生锈蚀
	铜-锡合金镀层	含锡 10%~15%的低锡青铜，具有良好的抛光性能，镀层孔隙小，耐蚀性好。低锡青铜因大气中容易氧化变色，必须套防护层 含锡 40%~50%的高锡青铜，外观呈银白色，硬度介于镍与铬之间。经抛光后，其反射率仅次于银，在大气中不易失去光泽，能耐弱酸，弱碱和食品中有机酸的腐蚀，同时具有良好的导电性和焊接性。但是镀层性脆，不能承受敲打或变形 低锡青铜套铬后，可作机械、轻工业和日用五金的防护、保护性镀层 高锡青铜可用来代银铬、铬，作反光镜、仪器仪表、日用五金、餐具、乐器等防护、装饰性镀层	—

续表

镀层系列	镀层类别	特性和用途	备 注
防护装饰性镀层	锌-铜合金镀层	含铜 25%左右的合金，有银白色光泽，成本低，保护好。对铜、铁来说，属阳极性镀层。在潮湿环境下，外观不如镍稳定，容易产生白色腐蚀点。 镀铬后作轻工业产品，一般用作户内产品的防护、装饰镀层	在工业大气条件下，锌-铜合金的防护、装饰性能比镀镍层好
	锌-铁-镍合金及锌-铁合金镀层	这两种合金有银白色外观，其电极电位同锌-铜合，在潮湿环境下容易产生白色腐蚀点。可从焦磷酸盐电解液中镀取。 镀铬后，用来代替锌-铜合金镀层，作一般户内产品防护、装饰用	—
	金、金合金镀层	镀金层，或含金 75%~80%的合金镀层（其余为银、镍或铜等），色泽美观、持久，作首饰等贵重产品装饰用	镀金不宜用银作底层
	黑镍镀层	是一种黑亮耀目的镀层，镀层很脆，弯曲时容易起皮或剥落，厚度不能超过 1.5 $\mu\text{m}$ ，作机械、光学仪器装饰用	—
	锡-镍合金镀层	含锡 65%的合金，外表像光亮的镍或铬，微带玫瑰色，有极高的耐蚀性能和抗暗性能。镀层硬度介于镍、铬之间，延性好、内应力很小。 可代替铜-镍-铬镀层，作防护、装饰用	—
高硬度耐磨镀层	硬铬	硬铬镀层是本表所列诸镀层中硬度最高的，能提高工件使用寿命。镀覆工具、刀具，修复曲轴、齿轮、活塞环，以及其他要求提高硬度和耐磨性的零件	镀硬铬的基体金属必须有足够的硬度
高硬度耐磨镀层	硬镍化学镀层	硬度略低于硬铬，较容易接受机械加工。沉积速度快，对于复杂零件能获得较均匀的镀层，除氢较容易；耐磨和耐腐蚀性好；镀层均匀；硬度随含磷量增加而提高，如果在 400℃下，热处理 1h，可提高硬度一级。用作耐磨、耐腐蚀的镀层	—
	镀铬	耐磨、耐腐蚀，接触电阻稳定。但镀层容易产生内应力和脆性，用做电器和电子工业比较重要的触头镀层	价格昂贵
	镀铁	价格低廉，镀层软，容易机械加工。电镀后经渗碳、渗氮处理可提高硬度。镀层厚度可达 1mm 以上。 修复磨损零件和加尺寸不足的零件；印制工业中，镀在铅版、铜版、活字版上，提高耐磨性	—
	镀锡-镍合金	硬度介于镍与铬之间，具有容易钎焊的特点，用于印制电路等	—
高导电、易钎焊镀层	金、金合金镀层	金导电性好，接触电阻小，镀金作焊接用得广泛，但只能用 10 $\mu\text{m}$ 以下的箔金，否则，焊接时会生成金锡中间层，使连接点发脆和润滑性下降。为了克服纯金耐磨性差的缺点，通常用金合金代替纯金。但合金比纯金接触电阻大五倍。此外金合金的钎焊和防护性不如纯金好	镀层在低负荷，纯金接角电阻约为钯的 1/3、铑的 1/6；高负荷时为钯、铑的 1/10
	镀银层	银导电率和反射系数很高，镀层软，耐磨性差。在大气中易受硫化物作用变暗，接触电阻增加。在与塑料、陶瓷组装时，镀层会向绝缘层迁移，甚至造成短路。电气工业广泛用做导电镀层	镀银后，需进行抗暗处理
	镀锡层	锡性质柔软，钎焊性好，对硫化物也很稳定。存放时间较久时，钎焊变难，镀后浸入热油中进行流平，可延长存放时间。广泛用于保护铜导线和导电零件，防止氧化或硫化，也用于需要焊接的零件	—



续表

镀层系列	镀层类别	特性和用途	备 注
高导电、易钎焊镀层	锡-镍合金镀层	锡-镍合金镀液的均镀能力特别好，镀层厚度可很大，耐磨、耐腐蚀性好。如果允许采用稍强的焊剂，而其他镀层不能采用时，可用这种合金	—
	锡-锌合金镀层	锡-锌合金有极好的钎焊性和耐蚀性。一般用于需要钎焊的钢制零件，如电信、电子零件，线缆接头和继电器组件等	—
耐磨镀层	铅基合金、锡基合金	铅基合金镀层耐疲劳性能比锡基合金好，但耐磨性和耐蚀性相反。当负荷不大，耐疲劳性能要求不高时，用锡基合金，该合金使用寿命长。用于轴承表面的镀层	—
	银-铅-钴合金镀层	用于高速和高负荷的轴承，其使用寿命比巴比合金轴承合金高30倍，比铜、铅合金高10倍	—
	镀钴层	钴的扩散能力好，选择适当的基体金属镀铜，用扩散方法可获得各种用途的含钴合金镀层，例如，在银轴承上镀铅和钴，然后加热扩散，可形成适合于作飞机发动机轴承用的银-铅-钴合金镀层	—
磁性镀层	镍-钴合金镀层	磁性范围广，用做录音带和电子计算机的磁性镀层，也可铸成磁性材料	—
	镍-铁合金镀层	纯镍和铁20%的镍-铁合金，适用于低矫顽力的磁性镀层	如果加入少量磷或其他综改性元素，可作高矫顽力镀层

6.4 表面处理工艺在产品中的应用实例

塑料材料的出现改变了人们的生活方式，尤其是塑料材料表面工艺的不断更新，给塑料材料带来了更多的精彩。塑料材料工艺的不断进步，使塑料材料在生活中逐步替代了金属、木材等传统材料。塑料材料不单是其自身的可塑性强、质量轻、性能佳、强度高等，并且还可以根据不同的使用要求进行相应特性的改性。

塑料材料表面工艺的不断更新，更是迎合了设计师的需要。从数码产品、家用电器、医疗器械、家具、装饰材料到航天航空等领域，都有塑料材料。通常的塑料材料是通过材料的一次改性之后，使得材料达到使用的性能要求，而后再通过二次的表面工艺处理，从而达到相应的外观使用要求。通常材料的表面处理分为三大种类，见表 6-6。

表 6-6 塑料材料表面处理工艺的分类

种 类	效 果	工 艺 等
表面机械加工处理	使表面平滑、光亮、美观	磨砂、抛光
表面镀覆处理	使表面耐磨、抗老化、有金属感	电镀、离子镀、真空镀、复合镀、非晶态合金镀等
表面装饰处理	装饰、美化、抗老化、耐腐蚀	喷涂、印刷、贴膜、转印等

1. 表面机械加工处理的应用（表 6-7）

表 6-7 表面机械加工处理的应用

工艺说明	
表面机械加工处理最初使用在金属材料中，后由于玻璃材料的普及，从而延伸到玻璃材料的表面处理工艺中。表面机械加工工艺主要以磨砂与抛光为主，伴随着塑料材料的广泛应用，此工艺也被引用进入塑料材料的表面处理中	
应用实例	展示
产品名称：“鸡尾酒”可置物帘子	
设计者：奥利维尔·佩里科特（法国）	
设计解读：设计师的创意设计带来了传统帘子的革新，以塑料替代了传统的布料。它采用高频机将磨砂的聚氯乙烯片热封到整张帘子上，形成了 126 个正方形的口袋，可以放进各种平的、薄的东西，比如信签、明信片、CD 等。不但满足了帘子的使用要求，而且经过磨砂的塑料更具有有一种朦胧感，给室内空间增加了趣味性与艺术感	

2. 表面镀覆处理的应用（表 6-8）

表 6-8 表面镀覆处理的应用

工艺说明	
<p>（1）喷涂定义：一种采用专用设备把某种固化材料加热熔化后，用高速气流将其吹成微小颗粒喷射到制品表面上，形成特制覆盖层的处理技术</p> <p>效果：使基件耐蚀、耐磨、耐高温，实现了外观的个性化差异</p> <p>（2）电镀定义：一种用电化学在制品表面获得金属沉积层的金属覆层工艺，最初使用于金属材料中，现在在塑料材料中也被广泛使用</p> <p>效果：可以改善成型制品的外观，改善制品的表面特性，使材料耐腐蚀、耐磨，具有装饰性和电、磁、光学性能</p> <p>（3）离子镀定义：在真空条件下，利用气体放电使气体或被蒸发物质离子化，从而把蒸发物或其他反应物蒸镀到基件上</p> <p>效果：改善制品的使用性能，美化制品外观效果，从而增加制品的附加价值</p>	
应用实例	展示
产品名称：爱国者 V1000 数码相机	
制造商：爱国者	
设计解读：此款产品机身采用塑料材料，经过磨砂的表面工艺处理，以增强材料的质感。整机除了镜头周围的一圈采用金属材质外，其余部件都是通过电镀工艺处理的塑料部件	



# 塑料之美——造型·结构·质感

设计师锦囊系列


续表

应用实例	展示
<p>产品名称: 镜球灯</p> <p>设计者: 汤姆·迪克森</p> <p>设计解读: 镜球灯从名称与视觉效果角度, 带给消费者一种金属材质的感觉。但该产品的实际材质是塑料, 通过对塑料的表面金属效果处理, 形成了镜子般的效果。这样的表面处理给灯的外观带来了反射的效果, 具有强烈的太空感与科技感</p>	
应用实例	展示
<p>产品名称: 松下时尚耳机</p> <p>制造商: 松下</p> <p>设计解读: 松下是第一家推出随身听产品的厂家, 并且在随身听领域的产品设计中始终保持着创新性。这款耳机的材质为高柔性聚乙烯氨化树脂, 耳机表面的装饰线条通过电镀工艺的处理, 体现出了金属的感觉, 与鲜艳的色彩形成一种对比, 带给使用者一种视觉愉悦感</p>	

应用实例	展示
<p>产品名称: Motorola AURA</p> <p>制造商: Motorola</p> <p>设计解读: Motorola AURA 的品质设计源自于豪华手表和手工设计, 用手表工艺中的精工机械打造开合机构, 130 个精密滚珠轴承让开合如同打开一扇豪华车门。各种精细的表面处理工艺, 使得该款产品高贵、有品位</p>	
应用实例	展示
<p>产品名称: 电镀水龙头</p> <p>制造商: TOTO</p> <p>设计解读: 这款水龙头, 带给消费者的是一种金属的质感, 在不了解材质的情况下, 或许会以为它是金属的材质, 但实际上它是由塑料做成的, 只不过经过了电镀工艺的处理, 使得表面看起来更为接近金属的效果。通过电镀工艺的处理, 不仅节约了材料成本, 而且提高了塑料水龙头的产品附加值</p>	

3. 表面装饰处理的应用（表 6-9）

表 6-9 表面装饰处理的应用

工艺说明	
<p>（1）涂饰定义：把涂料涂覆到制品的表面上，通过产生物理或化学的变化，使涂料的被覆层转变为具有一定附着力和机械强度的涂膜</p> <p>效果：通过对塑料制品表面着色，从而获得不同的机理，防止塑料老化，并提高制品的耐腐蚀性</p> <p>（2）丝网印刷定义：丝网印刷就是在丝网上涂一层感光材料，利用其感光前后可溶性的不同，经过感光后去除不需要的部分，通过网版从而控制何处能透过油墨，何处不能透过</p> <p>效果：改善塑料件的外观装饰，增加特定部位的效果，尤其适用于 LOGO 的表现</p> <p>（3）贴膜法定义：将印有花纹和图案的塑料薄膜紧贴在模具上，在加工塑料件时，靠其熔融的原料的热量将薄膜融合在产品上的方法</p> <p>效果：起到装饰产品外观、传达产品信息的作用</p> <p>（4）热烫印法定义：利用压力和热量将压膜上的黏合剂熔化，并将已镀到压膜上的金属膜转印到塑料件上的方法</p> <p>效果：同贴膜法相似，可以美化产品外观、传达产品信息</p>	
应用实例	展示
产品名称：诺基亚 N-GAGE	
制造商：诺基亚	
设计解读：该款产品以高性能的游戏特性而著称，该机的 3D 显示效果在手机中是属于高特性。手机屏幕周围的装饰采用了膜内转印技术，可以在复杂的曲面上印刷精美的图案，增强了手机的时尚性与娱乐机的定位	

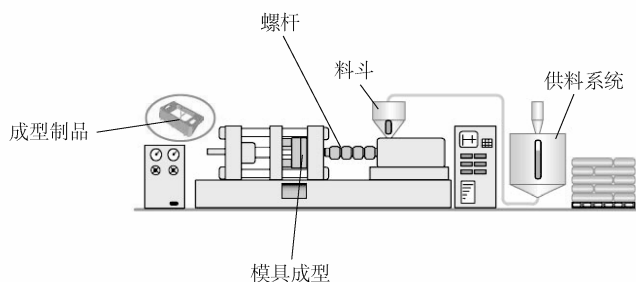
## 第 7 章

# 注塑成型缺陷原因与对策



注塑成型加工过程中是一个涉及模具设计、模具制造、原材料特性和原材料预处理方法、成型工艺、注射机操作等多方面因素，并与加工环境条件、制品冷却时间、后处理工艺密切相关的复杂加工流程。因此，制品质量的好坏就不单取决于产品的造型与结构设计。此外，注射机的注塑精度、计量精度，以及模具设计的优劣和模具加工的精度级别，都是影响和制约制品成型质量的因素。

在如此众多的复合因素约束下，注塑成型制品缺陷的出现就在所难免，寻求缺陷产生的内在机理以及预测制品可能产生缺陷的位置和种类，并用于指导模具设计和改进、归纳缺陷产生的规律、制订更为合理的工艺操作条件就显得尤为重要。我们将从影响注塑成型加工过程中的塑料材料特性、模具结构、注塑成型工艺及注塑设备三个主要因素来阐述注塑成型缺陷产生机理及解决办法。图 7-1 所示为注塑成型示意图。



7-1 注塑成型示意图

注塑成型加工过程中所用的塑料原料多种多样，操作工人对于特定注射机的熟悉程度以及工人之间的操作技能，实践经验的差异也各不相同，同时，客观环境（如环境温度、湿度、空气洁净程度）也会随着季节变化而不同，这些客观和主观条件共同决定了注塑成型制品缺陷的产生。一般来说，对于塑料制品性能优劣的评价主要有三个方面。

- （1）外观质量，包括完整性、颜色、光泽。
- （2）尺寸和相对位置间的准确性，即尺寸精度和位置精度。
- （3）与用途相应的力学性能、化学性能、电学性能等，即功能性。

### 7.1 充填不足

充填不足又叫短射、制件不满，指料流末端出现部分不完整现象或一模多腔中一部分填充不满，特别是薄壁区或流动路径的末端区域。其表现为熔体在没有充满型腔就冷凝了，熔料进入型腔后没有充填完全，导致产品缺料，如图 7-2、图 7-3、图 7-4 所示。

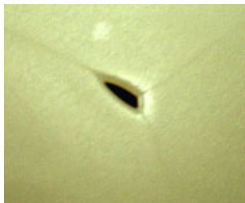


图 7-2 由于产生气体的  
充填不足



图 7-3 制品壁厚引起肋筋的  
充填不足

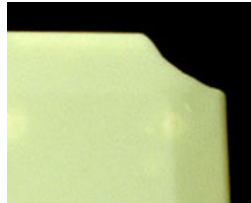


图 7-4 黏度大流速慢引起缺  
角的充填不足

产生充填不足的主要原因是流动阻力过大，造成熔体无法继续流动。影响熔体流动长度因素包括：制品壁厚、模具温度、注塑压力、熔体温度和材料成分。这些因素如果处理不好都会造成充填不足，具体解决对策见表 7-1。

表 7-1 充填不足解决对策

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 射出能力不足（改换到射出容量足够的机台） (2) 喷嘴与浇口未对正 (3) 材料供给量不足 (4) 喷嘴堵塞 (5) 喷嘴口径太小 (6) 料斗下料不顺畅（检查是否料筒内的干燥温度过高或是下料口处附近温度过高，而产生黏块状堵住下料口） (7) 加热料管温度过低 (8) 射出速度过慢 (9) 射出压力过低
与模具有关	(1) 浇口分配不平衡 (2) 下浇道、横浇道、进胶点过小 (3) 成品壁厚太薄 (4) 模温过低 (5) 排气不良 (6) 进胶口被杂质堵住
与成型材料有关	(1) 材料流动性不良 (2) 润滑剂（添加剂）不足或处理不当

## 7.2 溢料飞边

溢料飞边又称飞边、溢料、溢边、披缝等，大多发生在模具分合位置上，如模具的分界面、滑块的滑配部位、镶件的缝隙、顶杆的孔隙等处。飞边如不及时解决将会进一步扩大化，从而压印模具形成局部陷塌，最终可能造成永久性的损害。镶

件缝隙和顶杠孔隙的溢料还会使制品卡在模具上，影响脱模。制品的飞边如图 7-5 所示，其成因见表 7-2。

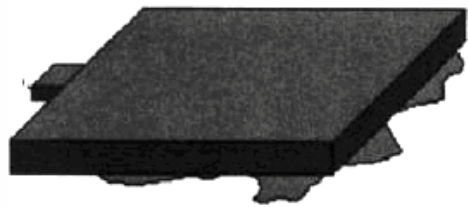


图 7-5 飞边

表 7-2 溢料飞边成因

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 闭模力不足（即合模压力不够） (2) 材料供给量过多 (3) 树脂温度过高 (4) 射出压力过大 (5) 射出压力保持时间过长
与模具有关	(1) 模具温度过高 (2) 模具表面吻合不良 (3) 模具配件（模块）加工精度不良 (4) 模具装配精度不良 (5) 配件变形或磨损 (6) 冷却管路不顺畅 (7) 有异物附着在模面上 (8) 模具设计不当
与成型材料有关	(1) 树脂流动性过佳 (2) 树脂黏度过低

7.3 缩水

缩水也称收缩下陷、凹陷、酒窝等，是指成品表面产生凹陷的现象。注塑制品表面产生的凹陷或者是微陷是注塑成型过程中的一个老问题。凹痕一般是由于塑料制品壁厚增加引起制品收缩率局部增加而产生的，它可能出现在外部尖角附近或者壁厚突变处，如凸起、加强筋或者支座的背后，有时也会出现在一些不常见的部位。产生凹痕的根本原因是材料的热胀冷缩，因为热塑性塑料的热膨胀系数相当高。膨胀和收缩的程度取决于许多因素，其中塑料的性能、最高最低温度范围以及型腔保压压力是最重要的因素，还有注塑件的尺寸和形状以及冷却速度和均匀性等也是影





响因素。塑料制品上的凹陷及缩痕是比较常见的成型缺陷，如图 7-6 所示，成因分析见表 7-3。



图 7-6 缩水

表 7-3 缩水缺陷的成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 树脂供给量过小 (2) 射出成型机容量不足 (3) 树脂温度过高 (4) 冷却时间不足 (5) 射出压力过低 (6) 射出速度过慢 (7) 射出压力保持时间过短 (8) 喷嘴与浇口未对正（会产生压力降） (9) 喷嘴口径太小（会产生压力降）
与模具有关	(1) 模具温度过高 (2) 冷却管路不顺畅 (3) 进胶口位置设置不当 (4) 成品壁厚处、厚薄不均 (5) 成品壁厚过厚 (6) 成品肋或榫处壁厚过厚 (7) 下浇道、横浇道、进胶口过小
与成型材料有关	(1) 树脂流动性过佳 (2) 成型收缩率大的结晶性树脂易产生缩水，例如 PE、PP 材质

## 7.4 流痕

流痕是指熔融树脂流动后的痕迹，以浇口为中心呈现年轮状的条纹。此种现象在黏度高而流动性不良的树脂中较容易出现。造成流痕的原因是因为最初流入模窝内的熔融树脂冷却过快，与后续的熔融树脂产生交界而残留下的痕迹。其主要原因是塑件温度分布不均匀或塑料凝固太快，熔体在浇口附近产生乱流、在浇口附近产生冷料或是保压阶段没有补充足够的塑料。流痕如图 7-7 所示，成因分析见表 7-4。

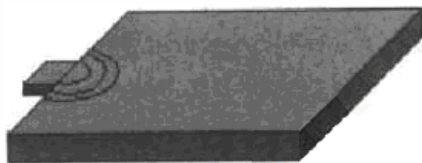


图 7-7 流痕

表 7-4 流痕的成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 树脂温度过低 (2) 喷嘴口径太小 (3) 材料留有缓冲料量不足 (4) 射出速度慢 (5) 射出压力过低 (6) 射压保压时间过低
与模具有关	(1) 熔渣滞留部过小 (2) 模具温度过低 (3) 进胶口过小 (4) 成品平均壁厚差距悬殊

### 7.5 喷痕

喷痕也称为喷射流，是指熔融树脂从浇口往模窝内注塑时成纽带状固化，在成型品表面呈蛇行弯曲状的模样，喷痕也可视为流痕的一种。产生喷痕的原因是塑料充填过快，而呈现树脂的流痕，在使用侧面浇口的模具时，若没有设熔渣滞留部或是熔渣滞留部过小时就容易产生喷痕，原因是通过浇口的较冷树脂会直入模窝，碰到模窝的壁面而固化，继而被后续的热树脂推流而残留痕迹。此种现象应追加熔渣滞留部，或加大浇口断面积，或选择其他的浇口形状来防止。

由于这部分材料不能与后续进入型腔的树脂很好地融合，就在制品上造成了明显的喷流纹。在特定的条件下，树脂在开始阶段以一个相对较低的温度从喷嘴中射出。接触型腔表面之前，树脂的黏度变得非常大，因此产生了蛇型的流动。接下来随着温度较高的熔体不断地进入型腔，最初的物料就被挤压到模具中较深的位置处，因此留下了喷痕。喷痕的成因分析见表 7-5。



表 7-5 喷痕的成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 喷嘴口径太小 (2) 喷嘴温度太低 (3) 料管树脂温度过低 (4) 射出速度过快
与模具有关	(1) 模具温度过低 (2) 熔渣滞留部过小或未设熔渣滞留部 (3) 浇口太小 (4) 浇口设计、使用类型不当 (5) 成品平均壁厚过厚
与成型材料有关	(1) 成型材料流动性差 (2) 树脂黏度偏高

## 7.6 银条

银条俗称白花或起昌，是指成型品外观面上，沿树脂流动的方向所产生的条纹，由于反射光的关系而呈现银白色条纹，所以称为银条。主要是由于塑料中的空气和湿汽挥发，或者异种塑料混入分解而烧焦，在制品表面形成的喷溅状的痕迹，通常它会从浇口处以扇形方式向外辐射发展。

许多塑料在存时储会吸收很多的水分，如果在加工前没能进行充分的干燥处理，这些残留的水分就会在注塑过程中转变为水蒸气，从而在制品表面产生喷溅状的痕迹。

另外，塑料原料在塑化阶段，熔体内也经常会有空气，如果这部分空气在注塑阶段无法顺利排出，也会在制品表面产生银条。此外，有些裂解的塑料或烧焦的塑料也会在制品表面产生银条，如图 7-8 所示，银条的成因分析见表 7-6。



图 7-8 银条

表 7-6 银条的成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 材料管温度过高（树脂过热分解） (2) 原料在料管内滞留时间过长 (3) 射出容量可塑化能力不足 (4) 射出速度过快 (5) 射出压力过高 (6) 计量时卷入空气（背压、压缩比不足）
与模具有关	(1) 模具温度过低 (2) 模具表面研磨不良 (3) 模腔设计不良（补强肋或成品有急剧变化处） (4) 下浇道、横浇道、进料口过小 (5) 熔料滞留部过小或未设熔渣滞留部 (6) 进料口位置不当 (7) 模面有水分或油等挥发物
与成型材料有关	(1) 材料受潮含有水分或其他挥发物 (2) 材料颗粒大小不均（容易混有空气） (3) 离型剂使用过量

## 7.7 表面模糊状

表面模糊状也叫起雾，是指成型品表面失去树脂本来的光泽，像罩有一层乳白色层膜，成为模糊状态，也称为光泽不良。造成光泽不良的原因很多，其他的一些注塑缺陷也是造成光泽不良的原因。

形成光泽不良的原因，大都是模具表面状态所引起的，因为模具表面若研磨不良时，则成型品的表面得不到充分的光泽。其他如成型过程中，使用过多的离模剂或油脂性离模剂，也都会有损成型品表面的光泽。成因分析见表 7-7。

表 7-7 表面模糊状的成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 喷嘴温度过低 (2) 喷嘴口径过小 (3) 料管温度过高 (4) 树脂在料管滞留时间过长 (5) 料管各区温度不正常 (6) 树脂在料管内熔融不均匀，部分过热 (7) 树脂温度过低 (8) 缓冲料量不足 (9) 射出速度太快 (10) 射出速度过慢



续表

问题类别	问题原因
与模具有关	(1) 模具表面研磨不良 (2) 模具温度过低 (3) 模具温度过高 (4) 进料口、横浇道、下浇道过小 (5) 模具表面附有水分或其他挥发物 (6) 排气不良
与成型材料有关	(1) 材料含有水分或挥发物 (2) 离型剂或润滑剂含有挥发性成分 (3) 不同材料相混合

## 7.8 熔接痕

在注塑成型制品的众多缺陷中，熔接痕是最为普遍的，除少数几何形状非常简单的注塑件外，发生在大多数注塑件上（形状通常为一条线或V形槽），尤其是需要使用多浇口模具和嵌件的大型复杂品。

熔接痕不仅使得塑件的外观质量受到影响，而且使塑件的力学性能，如冲击强度、拉伸强度、断裂伸长率等，受到不同程度的影响。此外，熔接痕还给制品设计和塑件的寿命带来严重的影响，因此，应尽可能地予以避免或改善。在成型过程中，当熔融塑料分成二道以上流动，于最后再会合时，由于流动树脂的前端部冷却固化致使于会合时，无法完全融合，形成细线或条纹，如图 7-9 所示，成因分析见表 7-8。

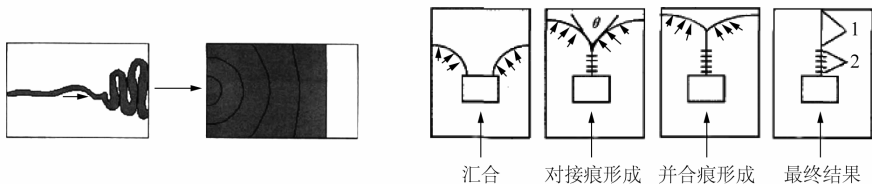


图 7-9 熔接痕

表 7-8 熔接痕的成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 树脂温度过低 (2) 喷嘴温度过低 (3) 射出压力过低 (4) 射出速度过慢 (5) 射出时间过短 (6) 料管计量速度过慢（转速慢）

续表

问题类别	问题原因
与模具有关	(1) 模具温度过低 (2) 模具表面含有水分或异物 (3) 进胶口和横浇道过小 (4) 进料口至接合线的距离过长 (5) 进料口的数量和位置排列不适当 (6) 排气不良 (7) 可在熔接处设置材料滞留部改善接合线 (8) 离型剂使用过多
与成型材料有关	(1) 树脂流动性不良 (2) 材料中含有水分及挥发物 (3) 使用润滑剂不当或过多

## 7.9 气泡

气泡、水泡、真空泡可统称为气泡。由于制品壁厚的中心处冷却最慢，制品的表面冷却迅速，快速收缩的表面会将物料牵引过来，使成型制品的体积收缩不均引起内部产生了空洞，即形成了真空泡。塑料中的水分或气体成泡后就变成了水泡或气泡，这是指成型品的内部包入水分、空气或其他气体而言。

一般来说，发生在透明制品上的气泡可以直接观察到，而发生在不透明制品上的气泡有时从外表无法看到，只有将其剖开或采用其他手段才能可能发现。气泡的出现会使得制品充填不满、表面不平，如图 7-10 所示，成因分析见表 7-9。

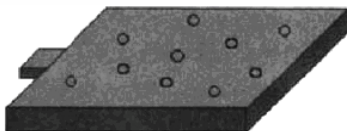


图 7-10 气泡

表 7-9 气泡解决对策

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 射出压力过低 (2) 射出压力保持不足 (3) 保压时间太短 (4) 射出速度过慢 (5) 射出速度过快 (6) 料管温度过高 (7) 背压不足 (8) 树脂温度过低 (9) 冷却时间过长



续表

问题类别	问题原因
与模具有关	(1) 模具温度过低 (2) 排气不良 (3) 进料口位置不当 (4) 模腔设计不良 (成品壁厚过大或急激厚度变化) (5) 进料口、横浇道、下浇道太小
与成型材料有关	(1) 材料收缩率大 (2) 材料颗粒大小不均匀 (3) 材料含有水分或挥发物

## 7.10 黑条与烧焦

黑条是指成型品有黑色条纹的现象。形成黑条的主要是熔融树脂在料管内，因过热分解而形成的，常见于热安定不良的树脂或难燃性树脂。一般所谓的烧焦除黑条以外，尚包括成型品表面因树脂过热所致的变色或制品的突角部分或榫或肋的前端等有焦黑的现象。

形成烧焦的原因是加热筒（料管）温度过高或树脂在料管中滞留时间过长而致使树脂产生分解，或是滞留在雌模的空气，因在熔融树脂射入时未能迅速排出被压缩而升温，以致将树脂烧焦，如图 7-11 所示，成因分析见表 7-10。



图 7-11 黑条与烧焦

表 7-10 黑条与烧焦成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 喷嘴安装不良 (2) 原料在料管中滞留时间过长 (3) 计量速度过快 (4) 背压过高 (5) 料管温度过高 (6) 料筒落料处下料不顺 (7) 射出压力过高 (8) 射出速度过快

续表

问题类别	问题原因
与模具有关	(1) 模具表面粗糙 (2) 排气不良 (3) 进料处（指下浇道或进料口）过于粗糙 (4) 模腔附有黄油或油脂 (5) 成品设计上有尖锐的突角
与成型材料有关	(1) 材料中含有挥发物 (2) 不同材质相混合 (3) 添加过量润滑剂

7.11 裂痕与破裂

破裂是指成型品表面的痕迹，或成品脱模时部分卡在模具中无法取出等，都属于破裂。

脱模时若脱模斜度不足、模具表面粗糙、顶针排列不均匀、模具的装配不良，都会导致脱模的阻力，若脱模阻力大于材料所能承受的抗拉强度，则破裂是必然的。射出压力过大或材料计量过多，会使成品内部产生过大的应力及收缩率减少，致使原先预留的收缩率不足，而造成脱模困难，裂痕或破裂就容易产生。模温过低也是造成收缩减小的主要原因之一。在制品中浇口部常易残留过大的内部应力，该部分易脆化，特别是直接浇口的附近时时都处在过度充填的状态中，更容易因内部应力破裂，如图 7-12 所示。成因分析见表 7-11。



图 7-12 破裂

表 7-11 破裂的成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 材料计量过多 (2) 树脂温度过低 (3) 射出压力过高 (4) 射出保持压力过大 (5) 射出时间过长 (6) 顶出速度过快或过慢





续表

问题类别	问题原因
与模具有关	(1) 进料口过大 (2) 模具温度过低 (3) 脱模斜度不足 (4) 模腔设计不良（发生内部应力集中） (5) 排气不良 (6) 成品壁厚不均 (7) 模具表面过于粗糙 (8) 肋或榫过于粗糙
与成型材料有关	(1) 材料中含有挥发物 (2) 不同材质的混合搭配

## 7.12 翘曲变形

翘曲变形（Warping）是注塑制品的形状偏离了模具型腔的形状，是塑料制品常见的缺陷之一。在射出成型中若制品有内部应力产生时，则会造成变形。平行方向的变形称为翘曲，反方向的变形称为扭曲。产生内部应力主要是制品冷却不均匀，因冷却不均匀，所以致使热收缩不均匀。其次，成型时树脂配向性也会是造成成型品变形的原因。

影响注塑产品翘曲变形的因素有很多，模具的结构、塑料材料的热物理性能以及注塑成型过程的条件和参数均对制品翘曲变形有不同程度的影响。因此，对注塑制品翘曲变形机理的研究必须综合考虑整个成型过程和材料性能等多方面的因素。

随着人们对塑料制品的外观和使用性能要求越来越高，翘曲变形程度作为评定产品质量的重要指标之一也越来越受到关注与重视。翘曲变形如图 7-13 所示，成因分析见表 7-12。

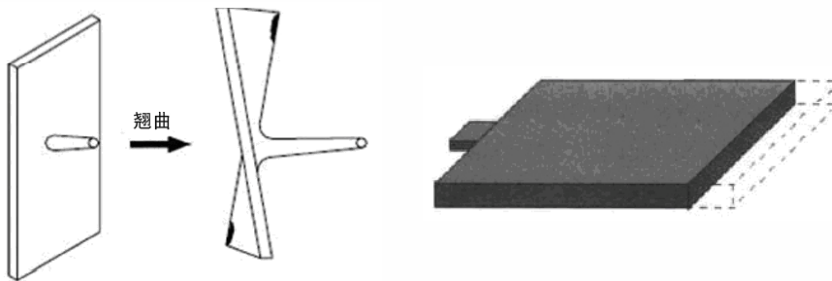


图 7-13 翘曲变形

表 7-12 翘曲变形成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 射出压力过大 (2) 射出保压压力过高 (3) 射出速度过快 (4) 料管温度过低 (5) 射出保压时间过长 (6) 冷却时间不足
与模具有关	(1) 模具冷却不均匀或不充分 (2) 模具温度过低 (3) 进料口过大 (4) 进料口设置位置不当 (5) 模具温度过高 (6) 模具冷却不均匀 (7) 离型时脱模不良 (8) 成品顶出力量不均 (9) 成品壁厚或形状变化急剧
与成型材料有关	(1) 材料使用不当 (2) 材料中含有水分及挥发物

## 7.13 顶白

顶白或挽白也被称为白化。成型品在离型脱模时遭受顶出销的强力顶出，或受到强制脱模时则该处会变白，此变白的部分称为顶白。此外雌模若比雄模粗糙（当成品顶出侧在雌模侧时）或是保压压力过大，会造成成品内应力过大，而在成品边缘产生白色的痕迹，这种痕迹称为挽白。顶白并非裂纹，然而却是裂纹的预兆。在 ABS 硬质合金、PVC 等塑料制品中，较容易发生顶白的现象。顶白的成因分析见表 7-13。

表 7-13 顶白的成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 料管温度过低 (2) 计量转速过慢 (3) 背压过高 (4) 射出保压过大 (5) 射出保压时间过长 (6) 射出速度过慢 (7) 顶出速度过快或过慢



续表

问题类别	问题原因
与模具有关	(1) 模具表面粗糙 (2) 肋或榫加工粗糙 (3) 脱模斜度不足 (4) 模具温度过低 (5) 边角处理不当 (6) 顶针排列受力不平均
与成型材料有关	(1) 材料使用不当 (2) 材料中含有水分及挥发物

### 7.14 颤纹

颤纹属于流痕的一种，只是其所产生的痕迹不是年轮状的形状，而是波浪形的条纹。颤纹形成原因是因为熔融树脂冲撞到较冷的模壁而反弹，在垂直流动的方向所留下的痕迹。颤纹的成因分析见表 7-14。

表 7-14 颤纹的成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 料管温度过低 (2) 计量速度过慢 (3) 射出速度过快 (4) 射出速度过慢 (5) 喷嘴口径过小 (6) 喷嘴温度过低
与模具有关	(1) 模具温度过低 (2) 成品壁厚不均 (3) 进料口或下浇道过小 (4) 成品设计上有关角 (5) 塑料流动比过长
与成型材料有关	(1) 材料颗粒大小不均 (2) 材料使用不当

### 7.15 表面剥离

表面剥离是指成型品表面形成云母状薄层剥离的现象。形成表面剥离的原因，主要是不同材质塑料相混合，或成型条件设定不当所引起的。例如一般级 PS 与 ABS、PE 与 PP、PS 与 PP 相混合来使用时，因为相互间不能熔融，所以成型后

会产生表面剥离层裂的状态。还有树脂温度太低时，流动树脂的内部会发生交界层，也是造成表面剥离的原因，如图 7-14 所示。成因分析见表 7-15。

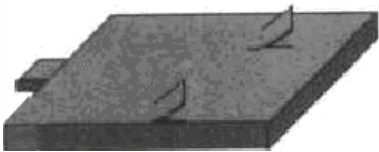


图 7-14 表面剥离

表 7-15 表面剥离成因分析

问题类别	问题原因
与成型机有关	(1) 换材质时料桶未清理干净 (2) 换材质时料管未清理干净 (3) 料管温度过低 (4) 离型剂使用不当 (5) 射出速度过慢
与模具有关	(1) 模具温度过低 (2) 模具表面残留脂油
与成型材料有关	(1) 不同材料的混合搭配 (2) 材料中含有挥发物

## 第 8 章

# 热塑性材料的焊接



通常认为热塑性焊接是不可选的，少数工艺如感应焊接等在生产过程中具有可选择性。至于选择哪种方法焊接应用在制品的设计与生产中，则要根据材料与制品工艺的实际情况进行考虑，因为焊接方法对制件设计有一定的要求，并且不同焊接方法之间也存在着明显差别。热塑性材料的焊接通常分为以下 10 种类型：超声焊接、振动焊接、摩擦焊接、热板焊接、电磁焊接、接触（电阻）焊接、热气焊接、挤出焊接、植入焊接、激光焊接。

其中热气焊接技术通常用来焊接塑料管、片或半成品制品，而不是用来焊接注塑成型制件。另外热气焊接有时用来制备塑料样模制件。部分热塑性材料焊接的选择类型见表 8-1。

表 8-1 部分热塑性材料焊接的选择类型

类 型	原 理	特 性	适用环境
超声焊接	用超声波发生器在几万赫兹频率下的机械能，使塑料件产生内摩擦热而熔融连接	高效、高质和低耗的熔接方法。但设备昂贵，在连接面上需设计凸起的接头	一般只能熔接同种塑料件。不同塑料及与非塑料熔接有条件限制
振动焊接	两个塑料件被夹持在一起，一个塑件被静态固定，而另一个塑件相对它振动。沿共同界面的摩擦热，将两个塑件连接在一起	振动频率为 120 ~ 240Hz，振幅为 0.5~4mm。接缝界面熔融后停止振动，两塑件对准，保持夹持压力。生产周期为 1~10s，接缝耐压 0.07MPa 以上	可用于各种热塑性塑料制品焊接。便于较大的达 500mm 的塑件连接。因玻璃纤维取向影响，接缝强度差，玻璃纤维增强塑件不适用
热板焊接	利用加热板和电熔铁等加热工具，直接熔化被连塑件表层，移去后加压冷却	工艺和设备简单。接缝强度达塑件强度 80% 以上，但易引起应力开裂，工艺参数要求严格	不易分解的 PE、PP 和 PC 等塑件
摩擦焊接	利用旋转法或振动法，使被连接塑料间摩擦生热，加压熔融端面使之焊接	熔接速度快，致密性好，接缝强度高，不易氧化。其接头形式需凹凸、斜面或阶梯相配	PVC、PE、PP、PA、ABS、POM 和 PC 等多数热塑性塑料，但仅适用小型圆形断面的棒状和管件
热气焊接	空气或惰性气体经焊枪加热后，用来加热焊条和被焊塑料件，使之熔接	需供气系统、焊枪及辅助工具。气压 40~78kPa。生产效率低，外观质量差；焊缝强度仅为塑材强度的 50%~80%	大多数热塑性塑料，常用于硬 PVC 板料和管件的焊接

### 1. 超声焊接

焊接热塑性制件的过程中，最普通的方法就是超声焊接。这种方法是采用低振幅、高频率（超声）振动能量使表面和分子摩擦，从而产生焊接相连件之间塑性制



品所需的热量（正弦超声振动）。超声焊接在 20 ~ 50kHz 的频率范围内发生，其一般振幅范围为 15 ~ 60  $\mu\text{m}$ 。在  $\leq 15\text{kHz}$ （较高振幅）的声频时，则应用于较大的塑料制品或较软材料。焊接过程通常在 0.5 ~ 1.5s 内发生。

焊接工艺包括焊接时间、焊头位置和焊接压力。而超声焊接设备通常用来焊接中小尺寸的热塑性塑料制件，而大型的塑料制品可用多点焊接方式。超声焊接方法可根据焊接时间或焊缝位置（塌陷距离）或焊接能量进行控制，同时也对焊接压力和冷却时间提供附加控制。超声焊接设备通常在 20kHz 或 40kHz 频率下运行，其中最为常用的频率为 20kHz。超声焊接机如图 8-1 所示。



图 8-1 超声焊接机

接头设计：如图 8-2 所示，第一类即最常用的接头类型，在被连接表面的垂直方向上利用超声振动进行接合。对接和 Z 形接合归入这一类，适用于多数聚合物。

第二类超声焊接接头包括与接头表面平行的或形成剪切的状态，这些类型的剪切和嵌接归入第二类。





第二类 接头设计	对接接头		不良的对接接头设计 焊接时间过长 焊接能量过大 挤出熔体导致外观缺陷
	带有能量导向器 (见表8-2)的对接接头		改进的对接接头设计 焊接时间缩短 焊接能量减少 挤出溢料 (可见)
	附加的溢料 收集器		焊接面积减少 挤出熔体没形成外观无 缺陷
第一类 接头设计	Z形接头		改进的耐剪切性 有助部件定位 挤出熔体没形成外观缺陷

图 8-2 接头设计示意图

表 8-2 无定形和半结晶聚合物所用的能量导向器的参考尺寸

The diagram illustrates the geometry of an energy director. It consists of two cross-sectional views. The top view shows a central V-shaped groove with a height  $h$  and a width  $H$ . The bottom view shows the same structure with a central V-shaped groove and a height  $h$ . The angle  $\alpha$  is indicated between the two sides of the V-shape.

典型的能量控制器尺寸				
参数	无定形聚合物		半结晶聚合物	
	小部件	大部件	小部件	大部件
$h(\text{mm})$	0.3~0.4	0.5~0.6	0.5~0.7	0.7~1.0
$\alpha$	60°~90°		90°	

如图 8-3 所示的焊接接头是对普通能量控制接头设计的改善方式，下面部件用一个带有粗糙或有纹理的表面进行改进，这样将会提高焊接质量，以及焊接强度和焊接完成的容易程度。另外其他类型纹理的接头也是可采用的。

溢料问题可通过把溢料污染槽引入接头的对接设计中，从而降低溢料，通常溢料槽设计至少 10% 的过度体积容量。

(1) 紧压接头

为了使溢料形成的可能性最小，紧压接头设计的目的是阻挡熔体或将熔体保持在熔区内。紧压接头对半结晶的塑料材料如尼龙是有用的，因为接头结构更复杂，





紧压接头所需的制件配合公差相对严格。与三角能量导向器焊接相比，较大的接头结构也需要附加振幅和焊接能量。典型的紧压焊接几何结构如图 8-4 所示。

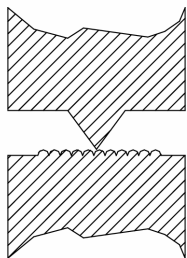


图 8-3 焊接接头设计改善

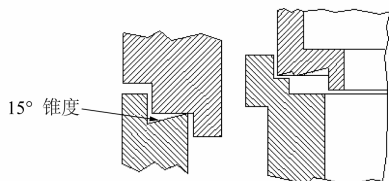
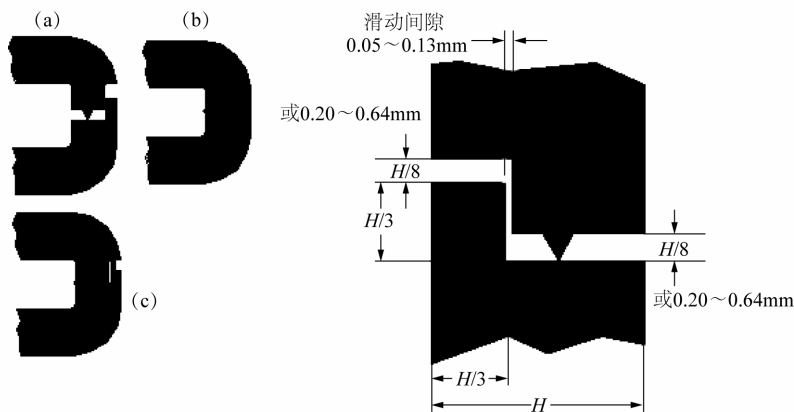


图 8-4 典型的超声紧压焊接结构

制品的焊接找平：简单对接没有任何设计措施的焊接部件，此时需要通过焊接制品相互找平或对齐进行处理。制品找平更适于用模塑定位销或双头螺钉完成，而 Z 形接头能自动找平，并且在使用时耐拉伸能力强，且改进了高剪切负荷性，并能消除焊接的外部溢料。图 8-5 所示为超声焊接工艺用的典型 Z 开接头设计。



(a) 焊接前的 Z 形接头；(b) 焊接后的 Z 形接头；

(c) 改进的 Z 形接头（台阶附带肩部掩盖了不平性，改善了外观）

图 8-5 超声焊接工艺用的典型 Z 形接头设计

## (2) 槽舌接合

这种接合不但提供了剪切强度，同时也提供了拉伸强度。这种接合是自动对中的，接合区域的壁厚必须相对大以适应槽舌接合设计。此外，制件公差要求相对严，可通过增加间隔加强筋改善接头找平。超声焊接工艺用的典型槽舌接合设计如图 8-6 所示。

## (3) 剪切接头

当焊接半结晶聚合物（或其他难以焊接的聚合物）和需要密封接头时，一般推荐使用剪切接头。需要高强度、高质量焊接的环形和矩形制品都采用剪切接头。剪

切接头具有搭接制件壁部分，当接头被焊接和相互依次嵌入时，搭接部分将产生公差和局部剪切。为了促进制品更容易找平，接头包含了调节部分。为了集中熔融能量，一边上的阻碍物顶角在初始接触面上降低。因为融化材料的温度在整个接触面上保持一致，制品被焊接时，两表面熔融均匀。深度为 1.0~2.0mm 的使用 0.13~0.5mm 范围内的公差值。为了防止在焊接过程中由于公差而产生的外部侧壁翘曲，垂直的制品应尽可能浅，但在一边用剪切制件改进的槽舌接头可与较深的拉伸制件一起使用，提供中壁接头，它使由于公差而产生的侧壁翘曲最小，如图 8-7 所示。

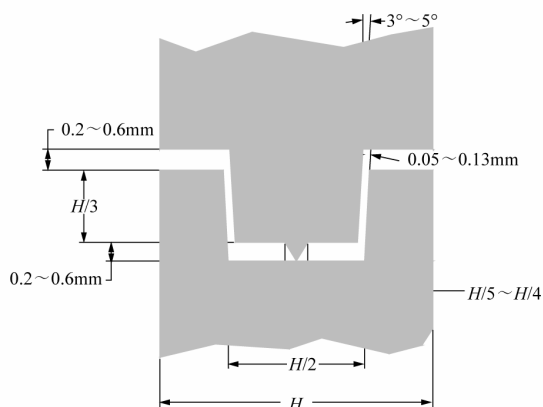
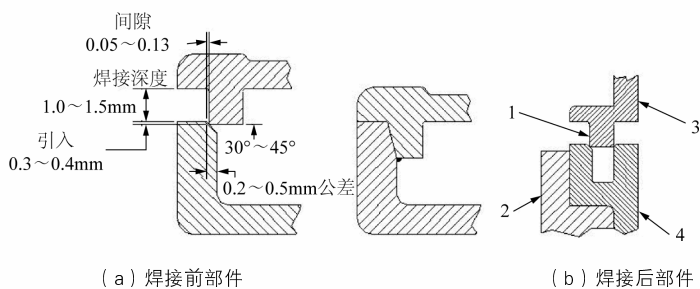


图 8-6 超声焊接工艺用的典型槽舌接合设计



(a) 焊接前部件

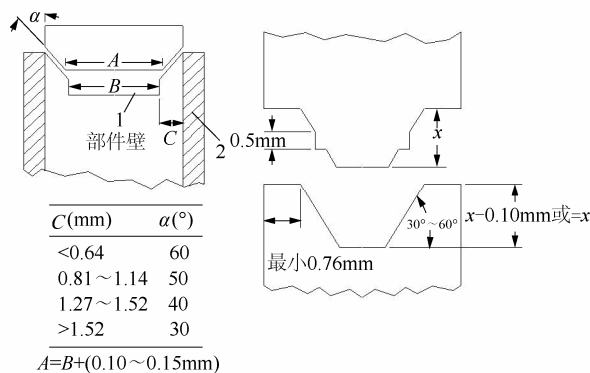
(b) 焊接后部件

1. 槽舌剪切接头；2. 支撑夹具；3. 上部件；4. 下部件

图 8-7 超声焊接剪切接头设计以及中壁组装剪切接头设计

## (4) 斜坡接合

斜坡接合设计也可为无定形和半结晶聚合物提供高强度密封接头。斜坡接合最适合小尺寸的圆形或椭圆形制件。斜坡接合对于焊接的能量要求很高，并且有一定的设计要求，如图 8-8 所示。斜坡接合具有 30°~60° 的斜角，且应该在 ±1° 内进行焊接装配。



(a) 斜坡接合

(b) 改进的斜坡接合

1. 溢料槽; 2. 夹具

图 8-8 典型的斜坡接合设计

(5) 带嵌入密封装置的焊接

用嵌入的弹性密封圈或韧性垫圈也可获得可靠的密封。如图 8-9 所示接头制件装有一个弹性环，以改善用超声焊接接合可达到的密封安全性，或在连续的周边焊接不可能的情况下使用。

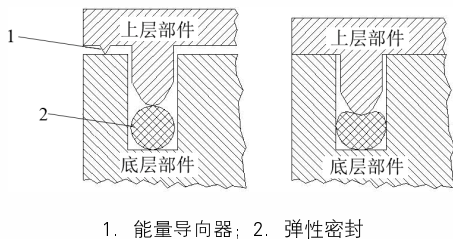


图 8-9 超声焊接制件通常需要密封接头

(6) 电栓焊

超声焊接设备也可生产电栓焊和销套触点焊接。在不需要密封接头的应用中，销套接头可用来连接相同的塑料材料，如图 8-10 所示。

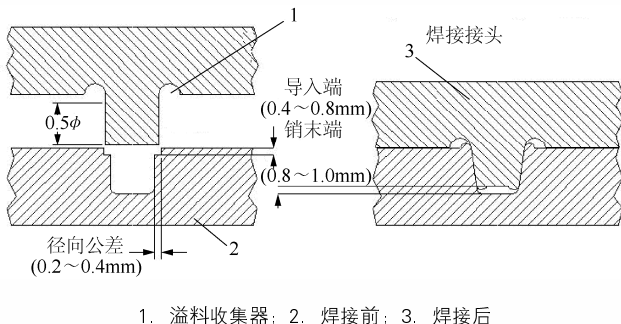
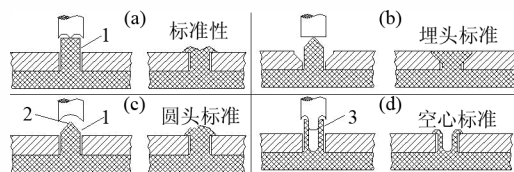


图 8-10 超声焊接设备可形成销孔型剪切接头

## (7) 超声铆焊

超声焊接的延伸焊接方式是超声铆焊，是指把一个热塑性制品固定在另一个不同材料的制品上的方法。铆钉或凸台在底部应该有十分大的半径或圆角，以防裂纹或熔融。为了更好地集中超声能量，凸台的顶端应该设计成与焊头的初始接触面积最小。凸台顶部可以是平的或圆锥形的，半结晶或填充的聚合物以圆锥形的较佳。超声铆焊的完整性取决于铆钉和焊头之间的精确容量关系，如图 8-11 所示。



1.  $\phi \geq 1.6\text{mm}$  的铆钉；2. 尖锐触发熔融；3.  $\phi \geq 4\text{mm}$  的铆钉

图 8-11 超声铆焊的各种结构

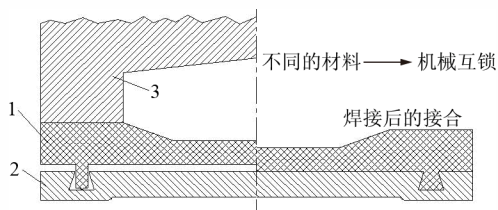
图 8-11 (a) 为标准铆焊。直径在 1.6 ~ 4.0mm 之间的平头铆钉，刚性和柔性的不耐磨热塑性塑料推荐使用标准外形。

图 8-11 (b) 为埋头铆焊。直径小于 1.6mm 的铆钉建议用在半球形铆焊上，对耐磨塑料是合适的。

图 8-11 (c) 为圆头铆焊。圆头铆焊用于对表面为平面要求或者隆起的平面，其厚度在允许使用的范围内。

图 8-11 (d) 为空心铆焊。直径大于 4mm 的凸台或铆钉去芯后可生成盲孔凸台，此时适合于空心铆焊。

如图 8-12 所示，当啮合制品中不允许有通孔时，超声焊接设备也能形成机械互锁。模制塑料铆钉（与用于铆焊的类似）和在啮合制件中的盲倒角，可形成以公差为基础（假设带倒角的制件不融化）的机械接合。



1. 带软化和变形铆钉的热塑性部件；2. 具有倒角的啮合部件；3. 超声波焊头

图 8-12 用超声焊接形成机械互锁的示例

**超声焊接的材料：**超声焊接操作适合于多数热塑性材料。

(1) 无定形聚合物。是指在室温下玻璃态的无定形物，通常是焊接工艺的最佳候选材料。玻璃态无定形聚合物具有良好的透射性能。当材料较软时，无定形材料

的超声焊接就成问题,如焊接高冲击 PS 将比焊接通用 PS 一般需要更多能量和附加振幅。

(2) 半结晶聚合物。一般更难用超声能量焊接,需增加由焊接体系发射的能量值(即增加振幅),缩短焊头/制件接触面与接头界面间的距离。使用近场超声焊接技术,使用振幅高达 0.05~0.15mm 的焊头时,这些高焊接振幅需要使用钛焊头。当需要高强度、密封组装时,剪切接头和斜坡接合对半结晶聚合物都适用。

(3) 焊接吸湿性聚合物。制品成型后马上焊接制品(在它们仍是干燥时),在焊接前需要干燥制件,并把制件存放在干燥器内。

### 2. 振动焊接

振动焊接其本质就是通过摩擦产生能量,以达到焊接的过程。在振动焊接过程中,被焊接的塑料制品在压力下摩擦到一起,直到生成的摩擦和剪切热量使焊接面达到充分熔融的状态。当熔融膜通过振动形成渗入到足够深的焊接区域时,此时相对运动停止,在压力作用下焊缝冷却并固化。振动焊接适用几乎所有的热塑性塑料,往复运动方向上具有允许的无约束振动焊缝的塑料制品、中型或大型制品。

振动焊接根据振动类型的不同,可分为轨道型振动焊接与线性振动焊接两类,如图 8-13 所示。轨道型振动焊接可连接焊区尺寸与焊区到旋转轴的距离近似相等的制件;线性振动焊接用在允许一个方向上线性振动的成套制件上。线性振动是左右方向振动,轨道型振动则是小圆形的振动。因焊接面相对时间轴的速度是一定的,因此轨道型振动可得到均一的焊接面。最大振幅:线性振动为 1.8mm,轨道型振动为 1.5mm。当接头被连接的整个表面是平的或稍向平面外弯曲时,对制件来说振动焊接工艺是最为理想的焊接方式。

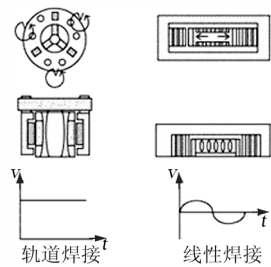
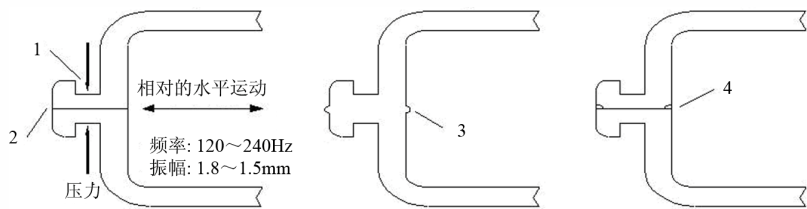


图 8-13 振动焊接类型示意图

图 8-14 所示为振动焊接的典型接头设计。



(a) 焊接前的标准对接接头 (b) 焊接后的标准对接接头 (c) 用溢料收集改进的对接接头  
1. 焊接设备沟槽; 2. 单平面分型线; 3. 焊接溢料; 4. 带溢料收集器的接合

图 8-14 振动焊接用典型接头设计

**振动焊接的材料：**无定形材料比半结晶聚合物更适合采用振动焊接的方式。

**振动焊接的优点：**

(1) 能高速焊接大型复杂线性部件。

(2) 能同时焊接多个部件。

(3) 焊接工具简单，几乎能焊接所有热塑性材料，包括注塑部件、挤塑部件、吹塑部件、热成型部件、发泡部件和冲压部件，主要用于汽车和家用电器行业。

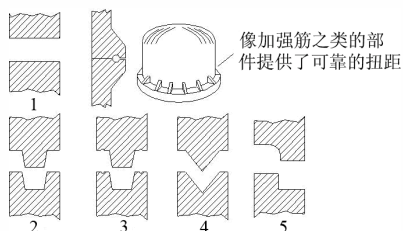
振动焊接尤其适合热塑性材料，包括无定形树脂，如 ABS/PC、PVC、PMMA 及 PES；半结晶树脂，如 HDPE、PA、PP、TPO。Dukane 的焊接机可接合汽车部件，如进气歧管、仪表板、尾灯及保险杠等；航空用途，如 HVAC 管、内饰灯及储存箱；家电方面有洗碗机的泵及喷水臂、洗涤剂的喷洒器及吸尘器外壳。

### 3. 旋转焊接（摩擦焊接工艺的其中一种）

旋转焊接通常用来连接具有旋转对称接合表面的制品，是连接不同大小的圆柱形热塑性塑料制件的最有效的工艺，它属于摩擦焊接工艺。用旋转焊接技术组装的制品常常具有与周边垂直的连接板等特征，主要加工参数是相对剪切速率、焊接压力和焊接时间。旋转焊接的接头强度取决于材料、接头设计和所用的加工条件，多数热塑性塑料可达到强的气密封接焊缝。旋转焊接对透射性能不好的材料特别合适，图 8-15 所示为旋转焊接机，图 8-16 所示为旋转焊接工艺用的典型的接头结构。



图 8-15 旋转焊接机



1. 对接接头；2. 槽舌接头；3. 带收集器的T、G接头；

4. 斜坡接头；5. 剪切接头

图 8-16 旋转焊接工艺用的典型接头的基本结构

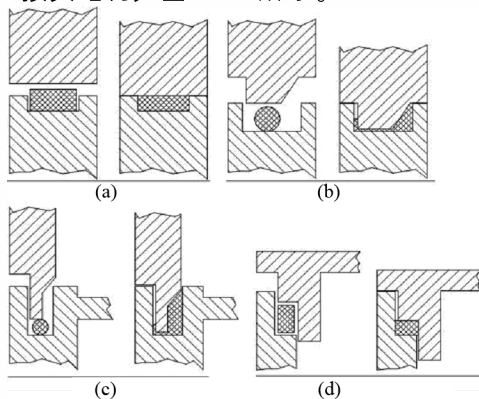
### 4. 电磁焊接

电磁焊接（电感焊接）是指利用能达到熔化温度的电感能量连接热塑性制件的方法，也被称作特种插入焊接，此间磁致旋光聚合插入物被一个高频电磁场加热。

**电磁焊接的材料：**焊接材料一般是磁致旋光的填充聚合物，它是由和制品材料相同的聚合物或相容的聚合物制造的。这种强磁性填充聚合物包括细分散的、微米尺寸的铁粒子，氧化铁粒子，不锈钢粒子，或其他磁性物质，它们成为电磁能的吸附体。按体积计算的强磁性粉的装填量通常少于 15%。当施加在制件上的力在焊接接头处产生剪切时，焊缝最结实。实际中最常用的接头是槽舌接头和 Z 形接合。电



磁焊接需要使用具有附加成本的嵌入焊接材料，且很不适合于含有电磁敏感零件的制品。电磁焊接的典型接头结构如图 8-17 所示。



(a) 平型到槽纹接头；(b) 舌状到槽纹接头；  
(c) 剪切接头；(d) Z 形接头

图 8-17 电磁焊接用的典型接头结构

## 5. 接触（电阻）焊

接触（电阻）焊是指电导线或条带被直接放入接头界面，电线连接在电路中且用电阻损失直接加热。热量通过导热性传递给相邻的塑料材料，因此塑性固体在局部区域软化或溶化。断电后，焊接区冷却，压力使啮合制件彼此接合。这种方法设备要求最低，焊接过程简单且速度快，特别适合于焊接很大的制件。但需要损失加热电线，焊接后电线保留在原位，增加了加工成本，且电线的存在也对成品的焊缝强度有不利影响。

## 6. 热板焊接

热板焊接（对平型制件）是指采用电加热金属模具使被连接塑料制件表面软化的热塑性焊接过程。几乎适用于所有的或大或小的热塑性制件。特别适合焊接较软的半结晶热塑性塑料，如 PE 或 PP。由于不同的模具表面温度能适用于两种不同的热塑性材料，此工艺最适于焊接不同的材料。热板焊接可达到很高的焊接强度。

对于塑料接合来说，热板焊接是最简单的批量生产技术。高温热板夹于待接缝的表面之间，直到软化为止。此时，将热板抽出，两表面在受控压力之下贴合，保持一段特定的时间后接合在一起。然后，让熔融表面冷却，形成焊接。焊接工具或加热元件配有内置电热器，以避免塑料粘连于焊接工具上。

温度一般为 180~230℃ 之间，具体根据待焊接材料的厚度和类型而定。这种焊接方法常用于焊接供气、供水、污水、排水塑料管及化工行业所用塑料管的端头；将加油管和接头焊接于汽车用吹塑油箱上。

多种日常用品都采用这一焊接工艺,例如吸尘器外壳、洗衣机和洗碗机部件、制动液油箱、后灯、指示灯等汽车部件。热板焊接法的弊端在于焊接速度较慢。小型件焊接时间一般为 10~20s,大型管焊接时间长达 30min。

### 7. 热气焊接

热气焊接法是一种热塑性材料的组装制作工艺。这一焊接法源于 20 世纪中期,利用加热的气流(通常为空气)将热塑性塑料基材和热塑性塑料焊条加热和熔化。基材和焊条熔融后形成焊缝。为确保有效焊接,必须在焊条上施加适当的温度和压力,还应确保合适的焊接速度和焊枪位置。

热气焊接是广泛用于连接热塑性型材和片材生产很大制件的焊接方法,适用于需要局部组装的较小的注塑成型制件、热塑性制件的修理及样模制件的制造。热气焊接法与氧炔金属焊接法相似。唯一的区别在于:氧炔焊所用的明火由热气流代替。压缩空气、氮气、氢气、氧气或二氧化碳通过焊枪时由电热盘管加热。

主要用途包括化学品存储容器、通风管道和汽车保险杠等注塑件维修等。氮气用于氧气敏感的材料,如聚乙烯;氧气则形成更高的焊接强度;压缩空气能确保较好的效果,成本低廉,因此,在热气焊接中广泛常用。

可焊接的塑料包括 PVC、聚乙烯、聚碳酸酯和尼龙。这一焊接方法的主要优点在于能焊接大型、复杂的部件,但是焊接速度慢,焊接质量完全依赖于焊工的技能。

### 8. 挤出焊接

挤出焊接是指由热气焊接发展而来的焊接方法,主要用于较大片型结构的自动焊接。

### 9. 植入焊接

在植入焊接中,首先将金属嵌件夹在待接缝的部件之间,然后通过感应或电阻方式加热。采用电阻焊接时,要求沿接缝放置电线将电流传导到植入件中;采用感应焊接时则不需要这种方式。热塑性塑料沿植入件周围熔融,围绕其周边流动形成焊缝。植入焊接法已用于焊接大型部件等的复杂接缝,包括汽车保险杠、电动汽车和游艇船壳。

### 10. 激光焊接

激光焊接适合于将片材薄膜和成型热塑性塑料焊接。焊接时,激光光束将塑料熔融于接缝区。激光机发出强烈的辐射光束(通常位于电磁光谱的红外线区),集中于待接缝的材料表面。这样,就在分子中产生了共振频率,令周边材料温度升高。

激光焊接是一种大批量生产工艺,其优点在于不产生振动,可将弧光灼伤降低到最低限度。其他优势包括:光束强度可控,可尽量避免部件变形或受损;激光光束集中,便于接缝准确成型;这种工艺属非接触式工艺,既清洁又卫生。激光焊接适用于单次焊接及连续焊接,不过,待焊接材料必须夹紧。焊接速度根据聚合物吸收率而定。激光焊接如图 8-18 所示,激光焊接设备如图 8-19 所示。



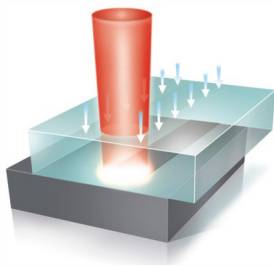


图 8-18 激光焊接示意图



图 8-19 激光焊接设备

## 激光焊接的优点：

- (1) 可将热量降到最低的需要量，热影响区金相变化范围小，且因热传导所导致的变形也最低。
- (2) 不需使用电极，没有电极污染或受损的顾虑。且因不属于接触式焊接制程，机具的耗损及变形可降至最低。
- (3) 激光束易于聚焦、对准及受光学仪器所导引，可放置在离工件适当的距离，且可在工件周围的机具或障碍间再导引，其他焊接法则因受到上述的空间限制而无法发挥。
- (4) 工件可放置在封闭的空间（经抽真空或内部气体环境在控制下）。
- (5) 激光束可聚焦在很小的区域，可焊接小型且间隔相近的部件。
- (6) 可焊材质种类范围大，也可相互接合各种异质材料。
- (7) 易于以自动化进行高速焊接，也可用数控或电脑控制。
- (8) 焊接薄材或细径线材时，不会像电弧焊接般易有回熔的困扰。
- (9) 不受磁场所影响（电弧焊接及电子束焊接则容易），能精确对准焊件。
- (10) 可焊接不同物性（如不同电阻）的两种金属。
- (11) 不需真空，也不需做 X 射线防护。
- (12) 若以穿孔式焊接，焊道深-宽比可达 10:1。
- (13) 可以切换装置将激光束传送至多个工作站。

## 激光焊接的缺点：

- (1) 焊件位置需非常精确，务必在激光束的聚焦范围内。
- (2) 焊件需使用夹具时，必须确保焊件的最终位置需与激光束将冲击的焊点对准。
- (3) 最大可焊厚度受到限制，渗透厚度远超过 19mm 的工件，生产线上不适合使用激光焊接。
- (4) 高反射性及高导热性材料如铝、铜及其合金等，焊接性会受激光所改变。
- (5) 当进行中能量至高能量的激光束焊接时，需使用等离子控制器将熔池周围的离子化气体驱除，以确保焊道的再出现。

- (6) 能量转换效率太低, 通常低于 10%。
- (7) 焊道快速凝固, 可能有气孔及脆化的顾虑。
- (8) 设备昂贵。

### 11. 焊接的黏接

黏合剂可用来连接相同原料聚合物的塑料制品, 一般用来连接由不同材料制造的制品, 使热固性塑料制件相互连接, 或使塑料制件与金属连接。

黏合剂的优点包括:

- (1) 美观、设计灵活。
- (2) 均匀的应力分布。
- (3) 能够连接不同的材料。
- (4) 能够提供大气、水、气体的严密封口。
- (5) 柔软黏合剂能缓冲振动。
- (6) 能与薄而软的基材一起使用。
- (7) 提供电绝缘和热绝缘性。

黏合剂的缺点包括:

- (1) 接头性能不定性。
- (2) 永久组装。
- (3) 综合化学过程。
- (4) 需要干净表面。
- (5) 没有接头检测。

黏合剂的选择: 特定应用的黏合剂的选择因素包括使用环境、应力值、基材表面化学性能、基材刚性特性、基材热膨胀系数、填缝要求和应用方法等。

## 附录 A

# 塑料产品设计常用表



附录 A 塑料产品设计常用表

表 A-1 塑料产品公差数值表

公称尺寸 (L/mm)	精 度 等 级							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	公 差 数 值 ( $\Delta/mm$ )							
~3	0.04	0.06	0.08	0.12	0.16	0.24	0.32	0.48
3~6	0.05	0.07	0.08	0.14	0.18	0.28	0.36	0.58
6~10	0.06	0.08	0.10	0.16	0.20	0.32	0.40	0.61
10~14	0.07	0.09	0.12	0.18	0.22	0.36	0.44	0.72
14~18	0.08	0.10	0.12	0.20	0.24	0.40	0.48	0.80
18~24	0.09	0.11	0.14	0.22	0.28	0.44	0.56	0.88
24~30	0.10	0.12	0.16	0.24	0.32	0.48	0.64	0.96
30~40	0.11	0.13	0.18	0.26	0.36	0.52	0.72	1.04
40~50	0.12	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.80	1.20
50~65	0.13	0.16	0.22	0.32	0.46	0.64	0.92	1.40
65~80	0.14	0.19	0.26	0.38	0.52	0.76	1.04	1.60
80~100	0.16	0.22	0.30	0.44	0.60	0.88	1.20	1.80
100~120	0.18	0.25	0.34	0.50	0.68	1.00	1.36	2.00
120~140		0.28	0.38	0.56	0.76	1.12	1.52	2.20
140~160		0.31	0.42	0.62	0.84	1.24	1.68	2.40
160~180		0.34	0.46	0.68	0.92	1.36	1.84	2.70
180~200		0.37	0.50	0.74	1.00	1.50	2.00	3.00
200~225		0.41	0.56	0.82	1.10	1.64	2.20	3.30
225~250		0.45	0.62	0.90	1.20	1.80	2.40	3.60
250~280		0.50	0.68	1.00	1.30	2.00	2.60	4.00
280~315		0.55	0.74	1.10	1.40	2.20	2.80	4.40
315~355		0.60	0.82	1.20	1.60	2.40	3.20	4.80
355~400		0.65	0.90	1.30	1.80	2.60	3.60	5.20
400~450		0.70	1.00	1.40	2.00	2.80	4.00	5.60
450~500		0.80	1.10	1.60	2.20	3.20	4.40	6.40

表 A-2 塑料制品精度等级的选用

类型	塑料品种	建议采用精度等级		
		高精度	一般精度	低精度
1	聚苯乙烯 聚甲基丙烯酸甲酯 聚碳酸酯 ABS 酚醛塑料 氨基塑料 3%玻璃纤维增强塑料	3	4	5

续表

类型	塑料品种	建议采用精度等级		
		高精度	一般精度	低精度
2	尼龙 6、尼龙 66、尼龙 60、尼龙 9、尼龙 1010 氯化聚醚 硬聚氯乙烯 醋酸纤维素	4	5	6
3	聚甲醛 聚丙烯 低压聚乙烯	5	6	7
4	软聚氯乙烯 高压聚乙烯	6	7	8

表 A-3 常用塑料材料用途查询表

简 称	中英文学名	用 途	备 注
硬胶 GPPS	通用级聚苯乙烯 General Purpose Polystyrene	文具、日用品、灯罩、仪器壳罩、玩具	透明，脆性， 易成型
不碎胶 HIPS	高冲击聚苯乙烯 High Impact Polystyrene	日用品、电器零件、机壳、玩具	白色，延性， 易成型
超不碎胶 ABS	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 Acrylonitrile Butadiene Styrene	玩具、家私、运动用品、机壳、日用品、把手、齿轮	黄白色，延性， 易成型
透明大力胶 AS (SAN)	丙烯腈-苯乙烯共聚物 Acrylonitrile Styrene	日用品、餐具、表面、家庭电器用品、装饰品	透明，易成型
软胶 (花料、筒料) LDPE	低密度聚乙烯 Low Density Polyethylene	包装胶袋、玩具、胶瓶、胶花、电线	半透明，延性， 易成型
硬性软胶(挤力士) HDPE	高密度聚乙烯 High Density Polyethylene	包装胶袋、水桶、电线、玩具、建材	白色，延性， 易成型
橡皮胶 EVA	乙烯-醋酸乙烯酯共聚物 Ethylene-Vinyl Acetate	鞋底、包装胶膜、板片、日用品、通管吹气玩具制品	透明，易成型
百折胶 PP	聚丙烯 Polypropylene	包装胶袋、拉丝、带、绳、玩具、日用品、瓶子、洗衣模部件	半透明，易成型
软质 PVC	聚氯乙烯(约加 40%增塑剂) Polyvinyl Chloride (Plasticized)	软管、硬管、软板、硬板、电线、电缆、鞋	可透明，易成型
硬质 PVC	聚氯乙烯 Polyvinyl Chloride (Rigid)	人造革、地板、窗框	脆性，可透明
尼龙单 6 PA-6	聚胺 6 Polyamide-6	轴承齿轮、油管、容器、日用品	白色，延性， 易成型
尼龙孖 6 PA-66	聚胺 66 Polyamide-66	机械配件、齿轮、拉丝、轴套、工具外壳、电器装置薄膜	白色，延性， 易成型
亚克力 PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯 Polymethy Methacrylate	装饰品、太阳镜片、文具、表面、仪器表外壳、灯罩、广告牌	透明，易成型

# 附录 A 塑料产品设计常用表

续表

简 称	中英文学名	用 途	备 注
防弹胶 PC	聚碳酸酯 Polycarbonate	机械、仪器、医疗器械、电讯器材、防弹玻璃、咖啡壶外壳	透明,易成型
赛钢 POM	聚甲醛 Polyoxymethylene (Polyacetal)	轴承轴套、齿轮、凸轮、泵机、电器、弹簧	白色,延性,易成型
PET	聚对苯二甲酸乙二醇酯 Polyethylene Terephthalate	汽水胶瓶、链条、齿轮、录音带、磁带、相机菲林轴承	透明,易成型
PBT	聚对苯二甲酸丁二醇酯 Polybutylene Terephthalate	电器配件、机械配件、螺母、阀门、防护面罩	半透明,延性
酸性胶 CA	醋酸纤维素 Cellulose Acetate	家用器皿、工具手柄、容器、眼镜框、文具、装饰品	透明,延性
PPO	聚苯醚 Polyphenylene Oxide	机械配件、电器外壳	褐色,电气特性
PPS	聚苯硫醚 Polyphenylene Sulfide	受温配件、受温外壳等	黑色,高温料
*以上数据只供参考			

表 A-4 常用塑料材料成型参考温度

材 料	简 称	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	玻璃纤维 含量 (%)	平均比热 (kJ/(kg×k))	加工温度 (℃)	模具温度 (℃)	收 缩 率 (%)
聚苯乙烯	PS	1.05	—	1.3	180~280	10	0.3~0.6
聚苯乙烯,中、高冲击性	HI-PS	1.05	—	1.21	170~260	5~75	0.5~0.6
聚苯乙烯-丙烯腈	SAN	1.08	—	1.3	180~270	50~80	0.5~0.7
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯	ABS	1.06	—	1.4	210~275	50~90	0.4~0.7
苯烯腈-苯乙烯-丙烯酸	ASA	1.07	—	1.3	230~260	40~90	0.4~0.6
低密度聚乙烯	LDPE	0.954	—	2.0~2.1	160~260	50~70	1.5~5.0
高密度聚乙烯	HDPE	0.92	—	2.3~2.5	260~300	30~70	1.5~3.0
聚丙烯	PP	0.915	—	0.84~2.5	250~270	50~75	1.0~2.5
聚本烯-GR	PPGR	1.15	30	1.1~1.35	260~280	50~80	0.5~1.2
聚异丁烯	IB	—	—	—	150~200	—	—
聚甲基戊烯	PMP	0.83	—	—	280~310	70	1.5~3.0
软质聚氯乙烯	PVC-soft	1.38	—	0.85	170~200	15~50	>0.5
硬质聚氯乙烯	PVC-rigid	1.38	—	0.83~0.92	180~210	30~50	0.5
聚氟亚乙烯	PVDF	1.2	—	—	250~270	90~100	3.0~6.0



续表

材 料	简 称	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	玻璃纤维 含量 (%)	平均比热 (kJ/(kg×k))	加工温度 (℃)	模具温度 (℃)	收 缩 率 (%)
聚四氟乙烯	PTFE	2.12~2.17	—	0.12	320~360	200~230	3.5~6.0
氟化乙烯基丙 烯共聚物	FEP	—	—	—	—	—	—
聚甲基丙烯酸 甲脂(丙烯)	PMMA	1.18	—	1.46	210~240	50~70	0.1~0.8
聚氧甲烯(乙 缩烯)	POM	1.42	—	1.47~1.5	200~210	>90	1.9~2.3
聚苯撑氧或聚 氧化亚苯	PPO	1.06	—	1.45	250~300	80~100	0.5~0.7
聚苯撑氧-GR	PPO-GR	1.27	30	1.3	280~300	80~100	<0.7
醋酸纤维素	CA	1.27~1.3	—	1.3~1.7	180~320	50~80	0.5
醋酸-丁酸纤 维素	CAB	1.17~1.22	—	1.3~1.7	180~230	50~80	0.5
丙酸纤维表素	CP	1.19~1.23	—	1.7	180~230	50~80	0.5
聚碳酸酯	PC	1.2	—	1.3	280~320	80~100	0.8
聚碳酸酯-GR	PC-GR	1.42	10~32	1.1	300~330	100~120	0.15~0.55
聚乙烯对苯二 甲酸乙酯	PET	1.37	—	—	260~290	140	1.2~2.0
聚乙烯对苯二 甲酸乙酯-GR	PET-GR	1.5~1.57	20~30	—	260~290	140	1.2~2.0
聚丁烯对苯 二酸	PBT	1.3	—	—	240~260	60~80	1.5~2.5
聚丁烯对苯二 酸-GR	PBT-GR	1.52~1.57	30~50	—	250~270	60~80	0.3~1.2
尼龙6(聚脒 胺6)	PA 6	1.14	—	1.8	240~260	70~120	0.5~2.2
尼龙6-GR	PA 6-GR	1.36~1.65	30~50	1.26~1.7	270~290	70~120	0.3~1
尼龙6/6	PA 66	1.15	—	1.7	260~290	70~120	0.5~2.5
尼龙6/6-GR	PA66-GR	1.20~1.65	30~50	1.4	280~310	70~120	0.5~1.5
尼龙11	PA 11	1.03~1.05	—	2.4	210~250	40~80	0.5~1.5
尼龙12	PA 12	1.01~1.04	—	1.2	210~250	40~80	0.5~1.5
聚醚矾	PSO	1.37	—	—	310~390	100~160	0.7
聚硫化亚苯	PPS	1.64	40	—	370	>150	0.2

续表

材 料	简 称	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	玻璃纤维 含量 (%)	平均比热 (kJ/(kg×k))	加工温度 (℃)	模具温度 (℃)	收 缩 率 (%)
热塑性聚亚胺脂	PUR	1.2	—	1.85	195~230	20~40	0.9
酚甲醛树脂 GP	PF	1.4	—	1.3	60~80	170~190	1.2
三聚氰胺甲 醛 GP	MF	1.5	—	1.3	70~80	150~165	1.2~2
三聚氰胺酚 甲醛	MPF	1.6	—	1.1	60~80	160~180	0.8~1.8
聚酯树脂	UP	2.0~2.1	—	0.9	40~60	150~170	0.5~0.8
环氧树脂	EP	1.9	30~80	1.7~1.9	ca.70	160~170	0.2
注意：a 注意与流动方向及横向的不同收缩率，制程影响； b 共聚物。							

表 A-5 常用塑料材料的最佳成型参考温度

序 号	材料种类	注塑温度 (℃)			模具温度 (℃)		
		最低	推荐	最高	最低	推荐	最高
1	ABS	200	230	280	25	50	80
2	PA 12	230	255	300	30	80	110
3	PA 6	230	255	300	70	85	110
4	PA 66	260	280	320	70	80	110
5	PBT	220	250	280	15	60	80
6	PC	260	305	340	70	95	120
7	PC ABS	230	265	300	50	75	100
8	PC PBT	250	265	280	40	60	85
9	PE-HD	180	220	280	20	40	95
10	PE-LD	180	220	280	20	40	70
11	PEI	340	400	440	70	140	175
12	PET	265	270	290	80	100	120
13	PETG	220	255	290	10	15	30
14	PMMA	240	250	280	35	60	80
15	POM	180	225	235	50	70	105
16	PP	200	230	280	20	50	80
17	PPE	240	280	320	60	80	110
18	PS	180	230	280	20	50	70
19	PVC	160	190	220	20	40	70
20	SAN	200	230	270	40	60	80



## 附录 B

# 塑料产品结构设计的禁用材质



### 1. 避免使用的材料

在塑料产品制造及其过程中应该避免使用的材料，通常有以下 6 种：石棉、多氯联苯、多溴联苯、多氯二苯、氯乙烯单体、苯。

### 2. 需要管制的材料

在塑料产品制造及其过程中需要管制的材料，通常有以下 15 个方面。

(1) 铍及其化合物。在塑料产品的制造及其过程中，含量 < 2% 的铍合金是可以被采用的。

(2) 镉及其化合物。在塑料产品的制造及其过程中，当防生锈的扣件采用镀锌或其他加工处理工艺都不适合的时候，镀镉是可以采用的。

(3) 铅及其化合物。在塑料产品的制造及其过程中，铅在焊接的使用过程中，可以被采用为焊接剂来进行使用。当镀锡在 PCB 或者表面黏着镀锡时，则不采用。为了减少铅蒸气的产生，焊锡设备应处于不超过 800°F 温度内。

(4) 镍及其化合物。在塑料产品的制造及其过程中，在非持续接触的情况下使用可以被采用。所有镀镍的应用应尽量避免使用在经常接触的零件表面，镀铬工艺在使用过程中常用于替代镀镍的零件。

(5) 水银及其化合物。在塑料产品的制造及其过程中，当需要使用在水银开关、水银电池及水银接点时是可以被采用的，但应尽量避免。通常采用结构开关或者电子开关的形式，来避免水银及其化合物的使用。

(6) 铬及其化合物。在塑料产品的制造及其过程中，铬分解产生的酸有剧毒，主要的危险是制造过程中暴露在铬化合物的环境中，如果零件在做铬酸盐表面处理时，有良好的工作环境以及安全管理制度时，则可以被采用。

(7) 锡的有机化合物。在塑料产品的制造及其过程中，纯锡或含锡的焊剂以及锡合金是可以被采用的，但在制程中应避免含有有机锡的产生。

(8) 硒及其化合物。在塑料产品的制造及其过程中，硒如果使用在复制的仪器（如激光打印机）的磁鼓作为镀层使用时是可以采用的。但所有使用过含有硒的仪器和设备，须要进行相应的回收处理。

(9) 金及其化合物。在塑料产品的制造及其过程中，都是含有剧毒的成分，因此不允许采用。

(10) 砷及其化合物。在塑料产品的制造及其过程中，可以被使用在半导体的制造中。

(11) 四甲基氯化物。在塑料产品的制造及其过程中，产品上必须标注此溶剂对人体的健康有潜在的危险，其替代品是氟氯碳化物溶剂。

(12) 氯化物溶剂。在塑料产品的制造及其过程中，大部分氯化物溶剂都含有强烈的毒性，氯化物溶剂应该尽量避免使用，除非是在制造或整修时之清洗或去脂的时候，而且找不到其他合适的替代品时，则可以适当的采用。

(13) 甲醛。在塑料产品的制造及其过程中，甲醛必须与盐酸溶液隔离，否则这两种化合物的气体会形成二氯甲基醚（致癌物质）。当甲醛含有泡沫时表示尚未



有反映，是可以被采用的。当树脂材料含有甲醛时要避免过高的温度，同时保持适当的通风。

(14) 乙二醇醚和醋酸盐。在塑料产品的制造及其过程中，容易导致产品畸形，需要进行严格的管制。

(15) 四氟化碳。在塑料产品的制造及其过程中，该成分是破坏臭氧层的主要元素，但四氟化碳聚酯是不受管制而且是可以被采用的材料。

### 3. 绿色环保的塑料产品设计材料

(1) 塑料外壳结构。外壳应该含有极少量的小零件，小零件应该使用同样的塑料材质及颜色塑料材质必须不可以含 PVC 或 PVCD 成分，在零件上必须打上该材质的编号和记号。当所使用的塑料材质因为要更稳定或配色或防火而需使用添加物，此时则禁止含有镉、铬、汞、砷、铍、锑以有机的组成，每个小零件最多只能含有 50mg/kg 的 PBB 或 PBBO。

(2) 金属外壳结构。以使用 SPCC 及 SECC 为主要，铝合金则尽量减少使用，如果非使用铝为金属配件者，须与金属外壳容易拆卸为原则。金属制外壳在制程上不可含有镉、铅、铬、汞等成分。

(3) 金属及塑料的组合件。在产品设计过程中尽可能考虑塑料件及金属件应该分开组装，同时要避免金属件及铜合金的黏合使用。

(4) 电子组件的使用。

- ① PVC 材质只使用在线缆的产品上面。
- ② 非含有 PCBV 的电容器。
- ③ 不含水银的开关。
- ④ 零件间如果是非黏着性密接，废弃时候须拆卸及分类。
- ⑤ 不含铍成分的零件。

(5) 包装。只有纸张、玻璃纸、纸板、聚乙烯和聚丙烯是被允许的包装使用材料。其中塑料和纸板的组合是不好的一种包装方式，在包装材料上应打上回收的标志，粘贴胶布应只能含有聚丙烯及粘贴层。而此种胶布尽量少使用，因为该材料无法回收。

(6) 印刷材料。为传递信息或促销用的印刷标签应该印刷在能回收使用的纸上，以及用氯漂白的纸上，而纸的加工方式必须载明在纸上，含有塑料成分的纸或纸板应禁止使用。